Physik.

Die Dosenverteilung der radioaktiven Strahlen in den Geweben.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

genehmigt

von der philosophischen Fakultät

der

Rheinischen Friedrich Wilhelms Universität

zu Bonn

Von

Heinrich Simanowsky

aus Altona.

= BONN 1936 =

L. Neuendorff, Bonn Kaiserstr. 4.

Berichterstatter:
Professor Dr. L. Grebe.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Unter Dosis wird die effektive Energie der Strahlung mit Bezug auf die biologische Wirkung verstanden. In der Therapie der radioaktiven Strahlen handelt es sich fast ausnahmslos um die harte Gammastrahlung von Radium und Emanation.

Was in der Strahlentherapie der radioaktiven Strahlen an Dosisangaben vorhanden ist, zeigt untereinander selten Übereinstimmung auch bei Umrechnung auf gleiche Bedingungen. Das hat neben den Meßfehlern seinen Grund in der verschiedenen Wahl der Methoden der Dosisbestimmung und der Dosiseinheit und in der Unsicherheit der Kenntnis über die Beziehungen der unter verschiedenen physikalischen Bedingungen gefundenen Ergebnisse.

Zum Vergleich und zur Übersicht des nach den verschiedenen Methoden gefundenen Materials über die Dosenverteilung in den Geweben seien die Methoden zunächst beschrieben. Danach folgt zum Zwecke der Umrechnung auf gleiche physikalische Bedingungen eine Betrachtung der physikalischen Charakteristiken der Strahlungsquelle, das sind Filterung, Stärke und Verteilung der radioaktiven Substanz, die relative Lage zwischen Strahlungsquelle und Bestrahlungsobjekt und die Dauer der Bestrahlung. Diese physikalischen Charakteristiken, die sogenannte Applikator-Dosis, muß dann in Beziehung gesetzt werden zur eigentlichen Dosis, die auch Gewebedosis genannt wird.

Methoden der Dosisbestimmung. Dosiseinheiten.

Es gibt 3 Arten der Dosisbestimmung, und zwar die biologische, die physikalische und die mathematische Methode. Diese Einteilung soll nicht so verstanden sein, als ob jede Methode von den anderen getrennt angewandt würde. Wie später gezeigt wird, beruhen die Angaben mehrerer Forscher auf der Kombination verschiedener Methoden.

a) Die biologiſche Methode. Biologiſche Einheiten.

Dieſe iſt in Anbetracht der Definition der Doſis am naheliegendſten. In den meiſten Fällen wurde das Hauterythem als Maß genommen, ſo z. B. von Hauſchting, Seitz und Wintz, Lahm, Martius, Dean, Quimby und Martin. Die Carcinom-Doſis wählt v. Seuffert, die Nekroſis im Kaninchenmuskel Cuttler und Quimby und Stewart, die Kaſtration Schneider, das Bleichen von Butter Failla und Quimby, die Bohnenreaktion Jüngling. Dagegen dient Zuppinger und Braun als biologiſches Maß die prozentuale Schädigung der Askariseier, Packard, Jüngling und Langendorf die der Droſophila-Eier, Ghirladucci die Strahlung, die Geſchwulſtbildung der Kaninchencingeweide hervorruft. Endlich ſei noch die Reduktion des Wachstums von Weizenſamen erwähnt, deren ſich Failla und Henshaw bedienten.

Sämtliche biologiſchen Einheiten erhielten nur vereinzelte Anwendung bei der Doſisbeſtimmung, ausgenommen das Erythem; Hauſchting bezeichnet als Erythemdoſis die Doſis von Radiumenergie, die gerade ausreicht, um eine länger beſtehen bleibende leichte Hautrötung, alſo Verbrennung erſten Grades zu erzeugen. Eine genauere Definition geben Quimby und Martin für das Schwellenerythem, das ſie als die Doſis definieren, welche in 80% der Fälle eine ſchwache Rötung oder Bräunung der Haut in 10 bis 20 Tagen und in den anderen 20% keinen ſichtbaren Effekt hervorruft. Ähnlich definierten ſchon Seitz und Wintz die Hauteinheitsdoſis als Mittelwert einer Anzahl Meſſungen.

Wie hoch der Grad der Ungenauigkeit bei den Meſſungen des Erythems iſt, zeigen die ſtark voneinander abweichenden Beſtimmungen des Erythems in Milligramm-Element-Stunden (mgeh), worauf ſchon Lahm hinwies, indem er zeigte, daß die Erythemdoſis in mgeh/cm um einige 100% bei mehreren deutſchen Kliniken ſchwankte. Folgende Zuſammenſtellung gibt einen Teil der in der Literatur angegebenen Werte der mgeh für die Hauterythemdoſis (HED) bei Beſtrahlung in 1 cm Abſtand von der Haut. Streng genommen kann man nur Präparate gleicher Länge und gleicher Filterung miteinander vergleichen. Nimmt man aber eine Umrechnung auf ein Normalpräparat vor, indem man etwa die im

ſpäteren Teil der Arbeit angegebenen Zahlen über das Intenſitätsverhältnis bei verſchiedenen Präparatlängen und Filterſtärken benutzt, ſo wird in vielen Fällen die Differenz noch größer.

Tabelle A.

Autor	Präparat-Länge mm	Filter	mgeh/cm für HED	
Braun	15	1 mm Pt	185	
Zuppinger	—	—	169	nach Angabe von Braun
Packard	—	—	345	nach Angabe von Braun
Lahm	15	1,2 mm Meſſg.	450	
Stahel	20	2 mm Pt	500	„ „
Glaſſer u. Mautz	12	0,5 mm Pt	270	
Neef	20	1,2 mm Meſſg.	430	(1929)
			400	(1932)
			310	(1934)
Friedrich	20	1,5 mm Meſſg.	450	nach Angabe von Neef
Glaſſer	20	2 mm Meſſg.	350—400	nach Angabe von Neef
Reißner	—	—	310—330	
Quimby	20	2 mm Meſſg.	206 (227)	(1922) (aus Formel berechnet)
Reinhard und Goltz	21,5	1 mm Pt	450	
Clark u. Feer	—	—	560—700	nach Angabe von Stahel
Murdoch	21,7	1 mm Pt	320	

Um bei der Doſierung in Erythemeinheiten nicht für jeden Applikator biologiſche Verſuche am Menſchen machen zu müſſen,

haben beſonders Failla, Quimby und Dean Berechnungen angeſtellt, die die Doſis in mgeh, die ein Erythem hervorruft, für einen Applikator beſtimmter Größe und Filterung ergeben. Danach läßt ſich die mgeh-Doſis bei irgendeiner Diſtance r (in cm) nach folgender Formel berechnen:

$$\text{mgeh} = \frac{1}{q} \frac{r^2}{\alpha \cdot \delta}$$

Im Falle des Schwellenerythems wurde die Konſtante $q = 0{,}63$ gefunden:

$$\text{mgeh} = 1{,}59 \frac{r^2}{\alpha \cdot \delta}$$

δ iſt der ſogenannte Verteilungsfaktor, der ſich nach Form und Größe des Applikators und ſeiner Entfernung von der Haut richtet (ſiehe Seite 33 und Tabelle L); α iſt der Abſorptionsfaktor, der von der Filterſtärke abhängig iſt; für verſchiedene Stärken von Meſſingfiltern geben Failla, Quimby und Dean die Abſorptionsfaktoren folgender Tabelle an:

Tabelle B.

Filter mm	Abſorptionsfaktor
0	1,0
0,1	0,62
0,2	0,26
0,3	0,085
0,4	0,05
0,5	0,03
0,6	0,021
0,8	0,0145
1	0,0119
1,25	0,0105
1,5	0,0098
1,75	0,0094
2	0,0090

Berechnet man mit Hilfe der gegebenen Formel und der Quimby'ſchen Werte für α und δ die für ein Erythem erforder-

lichen mgeh für die im Vorherigen angegebenen Applikatoren, ſo bekommt man die Werte folgender Tabelle:

Tabelle C.

Erythemdoſen in mgeh für verſchiedene Applikatoren mit 2-mm-Meſſing-Filter.

Entfernung cm	Tuben-Länge cm			Kreisdurchmeſſer cm	
	1	2	4	2	4
1	191	227	325	—	—
1,5	413	450	580	—	—
2	725	765	910	796	1030
3	1610	1660	1810	1680	1930
4	2830	2890	3020	2920	3200
5	4400	4400	4670	4500	4770
6	6300	6300	6600		
7,5	9950	9950	9950		
10	17700	17700	17700		

Entfernung cm	Quadrat-Seite			Rechteck		
	2 cm	4 cm	6 cm	4 . 6 cm	6 . 9 cm	8 . 12 cm
2	840	1110	1480	1280	1820	2500
3	1700	2050	2500	2210	2880	3700
4	2960	3370	3980	3500	4250	5140
5	4550	4900	5500	5120	5850	6900
6	6500	6800	7600	7050	7900	8850
10						20500

Die ſo erhaltenen Werte für die Erythemdoſen ſind gegenüber der von Quimby gegebenen Tabelle, die zum Teil in einem Bericht des Standardiſierungskomitees der „American Radium Society“ 1928 wiederkehrt, um 10% höher. Doch iſt die Zahl für

eine Tube von 2 cm Länge bei einer Entfernung von 1 cm, nämlich 227 mgeh, doch bedeutend niedriger als die auf Seite 5 aufgezählten Werte für Tuben gleicher Länge anderer Autoren, was darauf schließen läßt, daß das Schwellenerythem Failla Quimby's weit schwächer ist als das Erythem der übrigen Autoren. Nachstehend seien einige von Failla und Quimby klinisch bestimmte Erythemdosen in mgeh mit den entsprechenden berechneten Werten verglichen.

Größe des Applikators	Entfernung cm	Erythemdosis in mgeh	
		biologisch	berechnet
8.12 cm	6	9000	8850
8.12 cm	10	20000	20500
4.6 cm	4	3200	3500
1,4 cm (Tube)	2	830	740

Bei diesem Vergleich fällt die wenig gute Übereinstimmung für den Fall der Tube auf; legt man den experimentellen Wert (830) zugrunde, so erhält man durch Umrechnung auf ein Normalpräparat von 2 cm Länge in einer Entfernung von 1 cm die HED zu ungefähr 330 mgeh.

Die wenig zahlreichen Angaben der Dosisverteilung in Erythemeinheiten sind hiermit bis auf einzelne Fälle, bei denen meist nötige Bestimmungsstücke, wie Präparatlänge und Filterstärke, fehlen, erschöpft. Erwähnt sei nur noch folgende Dosenangabe von Hauschting: Ein Präparat von 40 mge und einer Filterstärke von 2 mm Messing + 0,1 mm Pt gibt eine Erythemdosis

bei einer Entfernung von 0,3 cm mit 80 mgeh
bei einer Entfernung von 1,3 cm mit 480 mgeh
bei einer Entfernung von 2,3 cm mit 1200 mgeh
bei einer Entfernung von 3,3 cm mit 2880 mgeh

Hierbei fehlt die Angabe der Präparatlänge.

Die Carcinomdosis bezeichnet von Seuffert als die, die in 48 Stunden von 100 mg Radiumbromid (= 58,57 mg RaEl nach K. W. F. Kohlrausch) in 3 cm Abstand geliefert wird. Sie ist nach Martius, Hauschting, Seitz und Wintz gleich der Erythemdosis, nach Krönig und Friedrich liegt sie um 20% tiefer.

Die Nekroſisdoſis bei innerer Beſtrahlung findet Quimby durch Verſuche an Kaninchen zu ungefähr 20 Erythemdoſen und berechnet danach das Nekroſisvolumen.

Der Vorteil der biologiſchen Doſierungsmethode liegt in der direkten Meſſung der biologiſchen Wirkung, (während bei den anderen Methoden erſt feſtgeſtellt werden muß, in wieweit der betreffende Meßeffekt mit dem biologiſchen Effekt parallel läuft). Ein weiterer Vorteil iſt, daß die biologiſche Reaktion die Strahlenwirkung auf eine Fläche oder ein Volumen anzeigt (und nicht wie z. B. bei der ionometriſchen oder rechneriſchen Methode, die Wirkung in einem beſtimmten Punkt). Deshalb eignet ſie ſich dazu, die Kurven oder Flächen gleicher Intenſität (Iſodoſen oder richtiger Iſodynamen oder Iſointenſitätsflächen) zu beſtimmen, wie es z. B. Zuppinger durch Meſſung der prozentualen Schädigung von Askariseiern getan hat. Doch zu mehr als zu einer Kontrolle der Ergebniſſe anderer Methoden hat ſich die biologiſche Doſierung nicht entwickelt, weil ſie den Nachteil hat, daß jedes Präparat in ſeiner biologiſchen Wirkung einzeln ausgewertet werden muß und daß die Meſſung wegen der großen Reaktionsbreite niemals exakt genug ſein kann. Bei der am meiſten verwendeten biologiſchen Doſierung, nämlich der in Erythemeinheiten, handelt es ſich zudem nur um eine Oberflächendoſierung; ſie ermöglicht keine Beſtimmung der für die Strahlentherapie wichtigen Tiefendoſen.

b) Die phyſikaliſche Doſierungsmethode. Phyſikaliſche Doſiseinheiten.

Hier iſt es beſonders die Ionometrie, deren ſich eine große Anzahl von Autoren bedient, wie Friedrich und Glaſſer, Huth, Ferroux, Sluys und Keſsler, Mallet und Coliez, Glaſſer und ſeine Mitarbeiter Mautz, Portman und Seitz, weiter Stahel, Mayneord, Sievert, Goldhaber und Griffith, Failla, Rees und Clark, Murdoch, Reinhard und Goltz, Jacobſon, Keller und andere.

Die Ioniſationskammern haben 3 Bedingungen zu genügen:

1. Die Kammern müſſen ſehr klein ſein, damit im Ioniſationsraum die Strahlungsdichte homogen iſt und ſich das Intenſitäts-

maß nicht mit dem Kammervolumen ändert. (Dieſe Bedingung gilt beſonders bei Meſſungen in Präparatnähe.)

2. Die Wandſtärke der Kammern darf eine untere Schichtdicke, die der Reichweite der Elektronen entſpricht, nicht unterſchreiten, um volumen- und druckproportionales Arbeiten der Kammern zu erhalten (Albrecht, Keller). Zu dünnwandige Kammern geben zu niedrige Werte. Bei Meſſungen im Phantom (Waſſer) iſt die Wanddicke gleichgültig, und wenn nicht im Phantom gemeſſen wird, kann die erforderliche Wanddicke durch Auflegen einer entſprechenden Platte z. B. aus Celluloid oder Bakelit erreicht werden (Friedrich und Zimmer). Nach Keller wird die „Sättigung" der Kammerwand erreicht durch

4 mm Kohle,
2 mm Aluminium,
0,5 mm Meſſing,
0,4 mm Silber.

Nach Glaſſer iſt eine Dicke von 1 mm luftäquivalenten Materials genügend.

3. Das Material der Kammern muß die Strahlungsintenſität möglichſt wenig beeinfluſſen, d. h. dem Medium, in dem gemeſſen wird, äquivalent ſein. Als Material kommt hauptſächlich in Frage Graphit, Kohle, Aluminium, Elektronmetall und zuweilen andere Metalle, ſowie Celluloid und die Kunſtharze (z. B. Bakelit); die Nichtleiter werden meiſtens durch Graphit leitend gemacht.

Für relative Meſſungen in Luft iſt das Material beliebig, während für abſolute Meſſungen in Luft das Material luftäquivalent ſein muß (z. B. Leukorit); Al-Kammern geben zu niedrige, Meſſing- und Ag-Kammern zu hohe Werte (Keller).

Für Kammern verſchiedenen Materials geben Glaſſer, Portmann und Seitz folgende Tabelle des relativen Ioniſationsſtromes, aus der aber nicht erſichtlich iſt, ob Bedingung 2 erfüllt iſt:

Tabelle D:

Material der 1 ccm Kammer	Ioniſationsſtrom relativ zu dem der Graphitkammer
Graphit	1
Mg	1,05
Al	1,07
Fe	1,2
Cu	1,25
Ag	1,93
Sn	1,96
Pt	4,2
Au	4,6

Der Einfluß des Materials und ſeiner Dicke auf die Tiefendoſen läßt ſich aus folgender Tabelle Failla's erſehen:

Tabelle E.

Mit gleich großen Ioniſationskammern verſchiedenen Materials beſtimmte Tiefendoſen für ein 4 gr-Radium Präparat von 7,5 cm Durchmeſſer mit 2 mm Pb-Filter, durch Rechnung auf 50 cm Entfernung zwiſchen Strahlenquelle und Waſſeroberfläche bezogen.

Tiefe cm	Material und Wanddicke der Kammer				
	Celluloid 0,2 mm	Celluloid 1,4 mm	Al 0,4 mm	Cu 0,3 mm	Pb 0,8 mm
0	100	100	100	100	100
2	90,2	89,2	86,5	95,7	88
5	76,4	74,4	72,2	89	73
7	67,8	65,5	64,6	83,2	64,5
10	56,7	54	54,7	71,7	54,4
15	41,4	38,3	41,8	51	40,7
20	29,5	28,5	31,9	37,8	29

Die kleinſten mit dem meſſenden Syſtem verbundenen Kammern ſind:

	Volumen	Material
Ferroux	1,8 cm^3	—
Keßler u. Sluys	1,5 cm^3	—
Friedrich, Glaſſer u. Huth	500 mm^3	Al
Mayneord	30 mm^3	Carbon u. Celluloid
Goldhaber u. Griffith	50—3 mm^3	Graphit
Stahel	2 mm^3	—
Reinhard u. Goltz	ca. 320 mm^3	graphitiertes Bakelit
Failla	ca. 1,85 cm^3	Celluloid, Al, Cu, Pb.

Friedrich, Goldhaber, Griffith bis herab zu 3 mm^3, „Luftwand".

Während die übrigen Autoren Luftkammern verwenden, iſt Stahels Kammer mit einer Flüſſigkeit (Hexan oder Petroläther) gefüllt, um die wegen des kleinen Ioniſationsvolumens ſehr geringe Empfindlichkeit zu erhöhen. Da aber bei der Flüſſigkeitsioniſationskammer die Sättigungsbedingung, die in der Definition des r gefordert wird, nicht erfüllt iſt, iſt eine absolute Meſſung mit dieſer Kammer nicht möglich (Murdoch).

Mallet konſtruierte aus Al ein ſogenanntes Ionomikrometer (Mikroelektroſkop), d. h. eine Ioniſationskammer, die gleichzeitig als Elektrometer dient. Es wurde gebraucht von Mallet's Mitarbeitern Coliez und Danne und von Den Hoed und Stoel. Die Konſtruktion ſehr kleiner Kammern dieſes Syſtems iſt außerordentlich ſchwierig und deshalb auch nicht weiter unternommen worden.

Um die Fehler, die mit den obigen mit dem Meßſyſtem verbundenen Kammern infolge Ladungsverluſt und vagabundierender Ioniſation auftreten, zu vermeiden, konſtruierte Sievert als erſter ſogenannte Kondenſatorkammern, die nur bei den Spannungsbeobachtungen mit dem Elektrometer verbunden werden. Über Kammern dieſes Syſtems exiſtieren folgende Angaben:

	Volumen	Material
Sievert (1926 bzw. 1934)	2 mm^3	Elektron bzw. graph. Celluloid
Glaſſer u. Mautz (1930)	2 bis 1/25 cm^3	—
Mallet (1932)	bis herab zu 0,65 mm^3	Al

Sievert bezeichnet die Kondenſatorkammer aus graphitiertem Celluloid als wellenlängenunabhängig, wodurch ſie alſo zu Meſſungen von Gamma- und Roentgenſtrahlen geeignet wäre.

Um bei den ionometriſchen Meſſungen gleiche Verhältniſſe bezüglich Abſorption und Streuung wie im Gewebe zu erhalten, wird ein Phantom genommen, das einen Abſorptions- und einen Streuungskoeffizienten ähnlich wie das Gewebe hat, und zwar meiſtens Waſſer, ſeltener Wachs oder Reis.

Ionometriſche Einheiten ſind die von Mallet und Prouſt definierte Dominici-Einheit D, bzw. die Tagesausbeute DJ, dann die Solomon-Einheit R und ſchließlich die Roentgeneinheit r.

D iſt definiert als der Ioniſationseffekt von 10 mg RaEl bei 20 mm aktiver Länge, 2 mm Pt Filter, im Abſtande 26,6 mm von Präparat- zu Kammerzentrum bei einer Beſtrahlungsdauer von 10 Stunden.

DJ unterſcheidet ſich hiervon durch die längere Beſtrahlungsdauer von 24 Stunden, iſt alſo gleich 2,4 D.

R iſt definiert als der Ioniſationseffekt von 1 gr RaEl bei 0,5 mm Pt Filter im Abſtande 20 mm bei einer Beſtrahlungsdauer von 1 sec. (Hierbei fehlt eine Angabe der Präparatgröße.) R iſt alſo an ſich keine Einheit der Doſis, ſondern eine der Intenſität.

r iſt nach Behnken folgendermaßen definiert: Die Doſisleiſtung 1 r/sec erzeugt in 1,29 mg Luft bei voller Elektronenausnutzung und bei Vermeidung von Wandwirkungen einen geſättigten Ioniſationsſtrom von 1 ESE $= 3{,}33 \cdot 10^{-10}$ Ampère.

Eine genaue Beziehung zwiſchen den einzelnen ionometriſchen Einheiten iſt wegen ihrer Abhängigkeit ſowohl vom Präparat wie von der Ioniſationskammer nicht möglich; deshalb können folgende Angaben nur als Näherungswerte betrachtet werden. Sie erlauben wenigſtens einen groben Vergleich der in verſchiedenen Einheiten gemeſſenen Doſiswerte. Zugleich ſei im Zuſammenhang die Beziehung zwiſchen der HED (Hauteinheitsdoſis) und den ionometriſchen Einheiten gegeben.

1 HED = 1800 r nach Mayneord's Berechnung (1931)
= 2000 r nach Glaſſer und Mautz (1930)
= 1400 r (für das Schwellenerythem Quimby's)
nach Angabe Mayneord's

1 HED = 17,1 D nach Mayneord
= 17 D nach Coliez und Mallet (1926)
= 18 D nach Stahel (1929)

1 r/sec = 1,65 R nach Mayneord's Berechnung
= 1,6 R nach Behnken und Jäger's Experimenten
= 1,62 R nach Glaſſer

1 HED/sec = 3000 R bei Annahme obiger Zahlen Mayneord's
= 3250 bei Annahme obiger Zahlen Glaſſer's

1 D = 105 r bei Annahme obiger Zahlen Mayneord's
= 117 r bei Annahme obiger Zahlen Glaſſer's

1 D/sec = 173 R bei Annahme obiger Zahlen Mayneord's
= 190 R bei Annahme obiger Zahlen Glaſſer's
= 170 R nach Coliez (1926).

Die Doſisleiſtung in r in Abhängigkeit von den Angaben der phyſikaliſchen Charakteriſtiken der Präparate wurde auf verſchiedene Art feſtgeſtellt. Folgende Werte von r wurden als Äquivalent von 1 mgeh bei 1 cm Entfernung vom Präparat gefunden:

Tabelle F:

Autor	Art der Beſtimmung	Präparatgröße	Filterſtärke	1 mgeh bei 1 cm Entf. äquivalent
1. Glaſſer und Mauß	Berechnung	—	—	7,4 r
2. Mayneord	„ (aus dem Prinzip der Äquivalenz von Gray)	—	—	8,7 r
3. Jäger	Berechnung (mit Hilfe der Eveſchen Konſtanten)	—	—	7,35 r (Minimalwert)
4. Lahm	Erythemvergleich	15 mm Länge	1 mm Meſſing	1,34 r
5. Braun	Schädigung der Askariseier	15 mm Länge	1 mm Pt	4,06 r
6. Neef	Erythemvergleich	20 mm Länge	1,2 mm Meſſg. ?	4,4 r

Autor	Art der Beſtimmung	Präparat-größe	Filterſtärke	1 mgeh bei 1 cm Entf. äquivalent
7. Failla und Henshaw	Bleikammer	7,5 cm Durchmeſſer	0,35 mm Pt + 1,5 mm Meſſg.	1,96 r
8. Bruzau	Offene Platten-kammer	—	—	6,7 r
9. Mayneord u. Roberts	Parallel-Platten-kammer	—	—	3,08 r
10. Mayneord u. Roberts	Graphitkammer	Punktquelle	0,5 mm Pt	8,3 r
11. Mayneord	Celluloidkammer	15 mm Länge	0,5 mm Pt	9,2 r
12. Mayneord		Punktquelle	0,5 mm Pt	8,9 r
13. Jona	Ioniſation	—	2,6 mm Meſſg.	6,5 r
14. Stahel	„	20 mm Länge	2 mm Pt	7,5 r
15. Glaſſer und Seitz	Kondenſator-kammer 25 cm³	10 mm Länge	2 mm Meſſg.	6,91 r
16. Glaſſer, Portmann, Seitz	Kondenſat.-Kammer	15 mm Länge	2 mm Meſſg.	7,2 r
„	„	„	0,5 mm Pt	6,1 r
17. Glaſſer, Mautz	„ ($^1/_{85}$ ccm	12 mm Länge	0,5 mm Pt	7,6 r
18. Sievert	Kondenſat.-Kammer	—	0,35 mm Au + 0,3 mm Pt	7,55 r
19. Murdoch	Kleinkammer leichtatomigen Materials	Punktquelle	1 mm Pt	7,62 r
20. Friedrich, Zimmer, Schulze	Ioniſationsmeſſung aus Strom, Zeit, Kammervolumen, Kugelkammer aus Kohle, 0,2848 cm³ Wanddicke: 4 mm	—	0,3 mm Pt + 6,3 mm Pb	7,25 r
			0,3 mm Pt + 5 mm Pb	7,96 r
			0,3 mm Pt + 1,5 mm Meſſg.	10,6 r
		(Meſſung in Paraffin)	0,3 mm Pt + 1,5 mm Meſſg.	10,1 r
			0,3 mm Pt	11,2 r
			0,2 mm Pt	11,3 r
			0,1 mm Pt	11,5 r

Zugleich seien die Korrelationszahlen für andere Entfernungen gegeben; dabei beziehen sich die Zahlen der ersten Vertikalreihe in folgender Zusammenstellung auf die betreffenden Zahlen vor den Namen der Autoren in vorhergehender Tabelle.

Zahl der r, die äquivalent 1 mgeh sind bei den Entfernungen:

	0,5 cm	1 cm	1,5 cm	2 cm	2,5 cm	3 cm	4 cm	5 cm	7,5 cm	10 cm
1)	23,7	7,4	3,5	2	—	0,9	0,5	0,3	0,14	0,08
15)	—	6,91	—	1,85	—	0,88	—	—	—	—
16)	—	7,2	3,3	1,9	—	0,92	0,52	—	—	—
	—	6,1	—	1,8	—	0,9	—	—	—	—
17)	22,2	7,6	—	2,1	—	0,92	—	0,32	—	0,08
6)	11	4,4	2,1	1,3	0,8	—	—	—	—	—

Zu Tabelle F ist zu bemerken, daß nicht bei allen Ionisationsmessungen die Bedingungen, die für eine absolute Bestimmung erfüllt sein müssen, auch erfüllt sind, wodurch sich die auffallenden Abweichungen einiger Resultate (Failla und Henshaw, Bruzau, Mayneord und Roberts) erklären lassen.

Bei den ionometrisch erhaltenen Resultaten fällt der Einfluß des Filters auf; hat dieses eine geringere Dicke als 0,5 mm Pt oder dessen Aequivalent, dann wird durch den Einfluß der Beta-Strahlen eine absolute Dosierung in Präparatnähe unmöglich gemacht.

Auffällig ist weiter der Unterschied zwischen den berechneten und ionometrisch bestimmten Verhältniswerten einerseits und den biologisch erhaltenen andererseits. Das könnte darauf schließen lassen, wie Sievert bemerkt, daß bei gleicher Dosis in r-Einheiten gemessen die Gammastrahlen biologisch weniger wirksam sind als die Röntgenstrahlen; also ist die absolute Energie für die biologische Wirkung nicht allein maßgebend. Zum gleichen Ergebnis führte eine Arbeit Failla's und seiner Mitarbeiter, in deren Schlußwort es heißt, daß wegen des verschiedenen biologischen Effektes gleicher r-Dosen am besten Gammastrahlen nicht in den gleichen Einheiten ausgedrückt werden wie wir sie für Röntgenstrahlen gebrauchen.

Nachdem nun aber durch neuere Arbeiten die Frage der Bedingungen für die absolute Messung der Gammastrahlendosis in r geklärt ist und da, wie später gezeigt wird, durch andere Untersuchungen der Einfluß von Filter und Intensität auf die biologische Dosis bestimmt wurde (Quimby bzw. Holthusen), besteht keine wesentliche Schwierigkeit mehr für die Dosierung der Gammastrahlen in r, deren allgemeine Einführung, die von Seiten deutscher Forscher vorgeschlagen wurde, wenigstens in physikalischer Hinsicht eine exakte Dosierung gestatten würde.

Die Energieeinheit des CGS-Systems, das **Erg**, oder die **Kalorie** als Dosiseinheit für Gammastrahlen zu nehmen, wurde 1923 von Dauvillier bzw. 1922 von Failla vorgeschlagen. Von den wenigen Angaben in diesen Einheiten sei erwähnt, daß nach kalorimetrischen Messungen Stahel's, die dieser selbst für ungenau hält, gilt:

$$1\ \mathrm{D} = 38\,000\ \mathrm{Erg/cm^3}$$
$$1\ \mathrm{HED} = 18\ \mathrm{D} = 700\,000\ \mathrm{Erg/cm^3}.$$

Nach Murdoch ist:

$$1\ \mathrm{HED} = 450\,000\ \mathrm{Erg/cm^3}.$$

Bemerkt sei, daß für Roentgenstrahlen nach Messungen Stahel's gilt:

$$1\ \mathrm{HED} = 96\,000\ \mathrm{Erg/cm^3}.$$

Also auch hier das Ergebnis, daß die absolute Energie nicht allein für die biologische Wirkung bestimmend ist. Murdoch hat auch durch Kombination von ionometrischen und energetischen Messungen für einzelne Nadeln und Tuben die Isodosen in $\mathrm{Erg/cm^3 mgeh}$ festgestellt. Danach entspricht z. B. für die Standard-Tube von 21,7 mm Länge und mit einer Filterung von 1 mm Pt die Intensität in 1 cm Tiefe ungefähr 1400 $\mathrm{Erg/cm^3 mgeh}$.

Außer der ionometrischen und kalorimetrischen Methode sei noch die **photographische** bzw. **photometrische Dosierungsmethode** genannt, deren sich z. B. Huth, Mazerès, Zuppinger, Den Hoed und Stoel, Guében, Reinhard und Goltz, Jakobson, Holthusen und Hamann, Friedrich und Rosenberger und Goldhaber bedienten.

Als Maß der Radiumdosis dient die Schwärzung von Roentgenfilmen im Vergleich mit der Schwärzung durch ein Standard-Präparat; zur Ausphotometrierung dient ein Mikrophotometer.

Holthusen und Hamann definieren als Einheit die **Würfelminute**, d. i. die unter einem Hartholzwürfel von 5 cm Kantenlänge mit dem auf der Mitte der Oberfläche des Würfels liegenden Standard-Präparat (13,3 mg; 1,5 cm Herdlänge; 1 mm Pt-Filter) erzielte Schwärzung, wobei noch unter dem Film zur Rückstreuung ein 2 cm dickes Hartholzbrett liegt.

Der Schwärzungsgrad ist wegen der von Friedrich, Rosenberger und Goldhaber in mehreren Anordnungen bestätigten Gültigkeit des Bunsen-Roskoe'schen Gesetzes nur von der Holthusen und Hamann (Biologische Eichung): Würfelminute äquivalenter Filterung die Schwärzung gleich, und geben Herdlängen Holthausen und Hamann (Ionometrische Eichung): Würfelminute zwischen 1 und 2 cm keine merklichen Abweichungen. An Beziehungen zwischen Würfelminute und anderen Einheiten wird angegeben:

Holthusen und Hamann (Biologische Eichung): Würfelminute äquivalent 0,043 r,

Holthusen und Hamann (Ionometrische Eichung): Würfelminute äquivalent 0,045 r,

Friedrich, Rosenberger und Goldhaber: Würfelminute äquivalent 0,05 r. Untere Erythemgrenze bei einem Abstande von 2 bis 3 cm zwischen 850 bis 950 Würfelstunden.

Durch die photographische Methode läßt sich verhältnismäßig schnell ein Überblick über die Strahlungsverteilung um ein Präparat, insbesondere über die Isodosen gewinnen; Messungen dieser Art von Mazerès und Guében zeigten gegenüber den früheren auf andere Weise gewonnenen Isodosenbildern merkliche Unterschiede. Dann ermöglicht diese Methode eine übersichtliche Kontrolle der für eine genaue Dosierung nötigen gleichmäßigen Füllung im Präparat, wie es z. B. vor kurzem von Dumont durchgeführt wurde. Da nach neueren Arbeiten von Friedrich und dessen Mitarbeitern bei der photographischen Dosierung die Fehlergröße höchstens 10% ist, ist die Genauigkeit nicht schlechter als die anderer experimenteller Dosierungsmethoden.

Für die **experimentelle** Bestimmung der Dosis bzw. Intensität der Gammastrahlung ergibt sich das Resultat, daß sie zu exakten und zuverlässigen Werten in Präparatnähe, d. h. bis zu einer Entfernung ungefähr gleich der linearen Dimension des betreffenden Präparates noch nicht führte. Denn in der Ionometrie, die von den

experimentellen Dosisbestimmungen für Radium-Nahbestrahlung das zuverlässigste Material liefert, wird aus früher angegebenen Gründen ein Kammervolumen von wenigen Kubikmillimetern verlangt, wodurch aber sehr schwer eine genügende Empfindlichkeit und Fehlerfreiheit zu erhalten ist, ganz abgesehen davon, daß die Konstruktion solcher winzigen Kammern technisch außerordentlich schwierig ist. Da in größerer Entfernung vom Präparat das Kammervolumen keinen bedeutenden Einfluß auf das Intensitätsmaß ausübt, gelten vorstehende Überlegungen nicht für Radium-Fernbestrahlung (Telecurietherapie).

c) Die rechnerische oder mathematische Dosierungsmethode.

Viele Forscher bestimmen die Intensität der Gammastrahlen rein rechnerisch; andere gehen in der Weise vor, daß sie für ein bestimmtes Einheitspräparat experimentell die Intensitätsverteilung bestimmen und die Intensität für andere zusammengesetzte Präparate danach berechnen.

Die bei der reinen Berechnung bestimmenden Stücke sind:

1. Ausbreitung,
2. Größe und Form des Präparats,
3. Absorption in der Präparatwand (Filter) und im Gewebe,
4. Sekundärstrahlung.

Die Intensitätsabnahme infolge der **Ausbreitung** ist proportional dem Quadrat der Entfernung. Ist I_0 die Intensität im Abstande o, so ist die Intensität im Abstande r also:

$$I = I_0/r^2.$$

Die Intensitätsabnahme infolge der **Absorption** berechnet sich aus dem aus der Optik längerer Wellen bekannten Schwächungsgesetz:

$$I = I_o \, e^{-\mu \cdot x}$$

wo x die Strecke ist, auf der die Absorption stattfindet, und μ der Absorptionskoeffizient des betreffenden Stoffes. Werden verschiedene Stoffe z. B. Präparatwand und Gewebe durchstrahlt, so sind die verschiedenen Absorptionskoeffizienten und Strahlungswege zu berücksichtigen. Man erhält:

$$I = I_o \, e^{-\Sigma \mu \cdot x}$$

Die Abſorptionskoeffizienten der harten Radiumſtrahlen — die weichere Strahlung wird durch die Filterung abſorbiert — ſind nach K. W. F. Kohlrauſch komplexer Natur; ſie beſtehen im weſentlichen aus 2 Komponenten. Einige Werte für die Abſorptionskoeffizienten der am meiſten in Betracht kommenden Stoffe ſeien gegeben (nach Kohlrauſch):

	μ_1	μ_2
Al	0,126	0,226
Zn	0,322	0,565
Cu	0,395	0,700
Ag	0,452	0,968
Pb	0,533	1,49
Au	0,901	2,30
Waſſer	0,0549	0,0998

(Nach Rees und Clark: für Waſſer $\mu = 0{,}052$)
(Nach Rogers: für Waſſer $\mu = 0{,}0503$).

Sievert gibt folgende durchſchnittliche Abſorptionskoeffizienten an:

Al	0,2	
Zn, Sn	0,5	
Fe, Meſſing	0,6	
Cu, Ni	0,7	
Ag	0,9	
Pb	1,1	
Hg	1,3	
Au	1,9	
Pt	2	
$RaSO_4$	0,15	
Gewebe	0,09	($\mu_1 = 0{,}06$; $\mu_2 = 0{,}11$).

Die Abſorption durch Gewebe verſchiedener Organe iſt nach Failla ungefähr die gleiche und hat angenähert den Koeffizienten 0,07 bis 0,08, was dem Durchſchnittskoeffizienten für Waſſer entſpricht.

Für Luft ergibt ſich nach Chadwick und Hess

$$\mu = 6.10^{-5} \text{ bzw. } 4{,}47 \cdot 10^{-5} \text{ cm}^{-1},$$

was bedeutet, daß die Abſorption in Luft verſchwindend klein iſt und nicht in Rechnung gezogen zu werden braucht.

Bei Präparaten, die nicht als punktförmig angesehen werden können, ist die Größe und Form der strahlenden Fläche zu berücksichtigen. Das geschieht durch Integration über die strahlende Fläche, was mathematisch keine besonderen Schwierigkeiten macht. Da aber in der Praxis die Verwertung der so erhaltenen Integralfunktionen schwierig ist, begnügt man sich auch damit, daß man das Präparat in eine Reihe einzelner Quellen sich aufgeteilt denkt, die Beiträge jeder einzelnen berechnet und dann summiert (z. B. Quimby, Kehrer und Lahm, Matzdorf).

Im Gegensatz zur Ausbreitung und Absorption bewirkt die sekundäre Gammastrahlung sowohl des Gewebes wie der Präparatwand (Filter) eine Intensitätszunahme. Diese harte Sekundärstrahlung ist nach Kohlrausch komplex, und zwar besteht sie aus 2 Komponenten, von denen die erste die gleiche Härte wie die härteste Komponente der Primärstrahlung hat; die zweite hat im allgemeinen eine andere Härte als die erregende Primärkomponente (Compton-Effekt). Die Streustrahlung rechnerisch zu erfassen, ist schon unter sehr vereinfachenden Annahmen äußerst schwierig, wie Kohlrausch und Blau zeigen. Z. B. ist nach Blau die Sekundärstrahlung S einer Punktquelle im Strahlenkegel vom halben Öffnungswinkel w nach Durchgang durch die Schichtdicke d mit dem Absorptionskoeffizienten μ unter der Annahme, daß die sekundäre Intensitäts- und Härteverteilung konstant ist und primäre und sekundäre Strahlen gleiche Härte haben:

$$S = \frac{k\,I}{4\,\mu}\,(\cos w\,(F(\frac{\mu\,d}{\cos\,w})-1)-(F(\mu d)-1)).$$

Darin ist k eine Konstante, I die Anfangsintensität der Primärstrahlen,

$$F(x) = e^{-x} + x\,Ei(-x),\ \text{wo}\ Ei(-x) = -\int_x^{\infty} \frac{e^{-x}}{x}\,dx.$$

Für die in der Praxis in Betracht kommenden Fälle ist der Betrag der Sekundärstrahlung kaum zu errechnen; deshalb wurden durch vereinfachende Annahme die Berechnungen zu ermöglichen gesucht.

Mehrere Forscher (z. B. v. Seuffert, Zuppinger, Quimby, Mayneord) nehmen an, daß sich Absorption und Streuung ungefähr kompensieren, und berücksichtigen nur den Ab-

ſtand und die Präparatgröße. Die letztere braucht nicht einmal eingerechnet zu werden, wenn das Präparat punktförmig iſt oder wegen großer Entfernung vom Präparat zum Beſtrahlungsobjekt als Punkt angeſehen werden kann. Das kann man, wie Failla, Quimby und Dean und Mayneord zeigen, ſtets dann, wenn die Entfernung wenigſtens das Dreifache der linearen Dimenſion des Präparates iſt, wobei der Fehler nur 1% beträgt. Für ein kugelförmiges Präparat iſt die Richtigkeit der Annahme, daß ſich Abſorption und Streuung in Waſſer (oder Gewebe) kompenſieren, durch Grebe-Neukirchen experimentell bewieſen. Ebenfalls ionometriſch weiſt dies Bruzau nach für Entfernungen zwiſchen 6 und 15 cm von der Quelle. Neuere Meſſungen von Friedrich, Zimmer und Schulze ſowie von Keller mit Kammern, die den Bedingungen für abſolute Meſſungen in r genügen, ergeben, daß die Abſorption in Paraffin bzw. Waſſer nicht ganz durch Streuſtrahlung und Compton-Effekte ausgeglichen wird; doch iſt die Differenz nicht bedeutend; ſo iſt nach erſteren bei einer Filterung von 0,3 mm Pt + 1,5 mm Meſſing 1 mgeh bei 1 cm Entfernung äquivalent 10,6 r bei Meſſung ohne Phantom und 10,1 r bei Meſſung in Paraffin. Nach Keller ſind die Werte in Waſſer je nach der Entfernung ungefähr 5 bis 15% niedriger als in Luft bei einer Filterſtärke von 0,5 mm Platin-Iridium; wenn aber nicht luftäquivalente Kammern verwendet werden, wird ein Streuzuſatz erhalten.

Andere Forſcher (z. B. Krönig und Königsberger, Mazerès, Sievert) berückſichtigen die Abſorption und vernachläſſigen die Sekundärſtrahlung. Nach Angaben von Kohlrauſch kann man annehmen, daß die Sekundärſtrahlung mehr oder weniger ausgeglichen wird durch die aus der Inhomogenität der Primärſtrahlen reſultierende Abnahme des Abſorptionskoeffizienten mit zunehmender Schichtdicke, wodurch alſo ſcheinbar ein exponentieller Abſorptionsverlauf ſtattfindet. Das würde obige Annahme, daß nur die Abſorption zu berückſichtigen iſt, rechtfertigen. Experimentell fand Sievert, daß die Sekundärſtrahlung im Verhältnis zur Geſamtſtrahlung ſehr gering iſt. Außerdem glauben Goldhaber und Griffith und Stahel die Richtigkeit der Formeln Sievert's, die die Sekundärſtrahlung nicht einrechnen, experimentell beſtätigen zu können.

Schließlich wurde noch ſo verfahren, daß die Abſorption im Filter berückſichtigt wurde, die im Gewebe aber als durch Streuung

kompenſiert gedacht wurde (Griffith und Zimmer). Die ſo erhaltenen berechneten Werte wurden von den genannten Forſchern mit Ionifationsmeſſungen für den Fall ſcheibenförmiger Emanationspräparate in guter Übereinſtimmung gefunden.

Als Einheit der Intenſität wurde bei faſt allen Berechnungen die Intenſität einer Punktquelle im Abſtande von 10 mm genommen und zwar einer Punktquelle entweder von 1 mg oder von der jeweiligen Radiummenge. Es exiſtieren folgende Bezeichnungen und Definitionen der Einheitsintenſität:

Impulsſtärke = Intenſität einer Punktquelle von 1 mg $RaBr_2$ im Abſtande von 10 mm (nach Krönig und Königsberger).

Lokale Radium-Element-Konzentration = Intenſität einer Punktquelle von 1 mg Radium-Element im Abſtande von 10 mm bei 1 mm Meſſingfilter. (nach Lahm).

Millicurie-Strahlung (MCS oder I_{mc}) = Intenſität einer Punktquelle von 1 mg RaEl im Abſtande von 10 mm (nach Sievert).

Von praktiſchem Intereſſe ſind die Formeln Sievert's und die Berechnungen Quimby's. Die Formeln der andern vorher angegebenen Forſcher ſind entweder bezüglich ihrer Richtigkeit zweifelhaft oder laſſen ſich wie z. B. Mayneord's Formeln als Spezialfälle der Sievert'ſchen anſehen.

Quimby denkt ſich die Präparate (Nadeln oder Tuben, kreisförmige, quadratiſche oder rechteckige Applikatoren) in Teilpräparate zerlegt, z. B. die Tuben in 7 bzw. 10 Teilquellen, und erhält die Intenſität am betreffenden Punkt durch Summation der von den einzelnen Teilquellen herrührenden Teilintenſitäten, die nur nach dem umgekehrt quadratiſchen Geſetz berechnet ſind oder für eine einzelne Quelle experimentell beſtimmt wurden, ohne Berückſichtigung der Abſorption im Gewebe. Quimby kontrolliert die Ergebniſſe durch kliniſche Verſuche und findet teilweiſe gute Übereinſtimmung; doch iſt die Kontrolle nicht für die kurzen Entfernungen unter 2 cm durchgeführt.

Die Formeln Sievert's berückſichtigen die Abſorption im Filter und Gewebe, die verſchiedenen Strahlungskomponenten und die jeweilige Präparatform, und zwar gibt Sievert Formeln an für Punkt-, Linien-, Kreisperipherie- und Scheibenquellen. Sievert hat

die Berechnungsresultate für verschiedene Nadeltypen veröffentlicht. Für ein stabförmiges Präparat findet er durch ionometrische Kontrolle, daß die berechnete Intensitätsverteilung mit der Beobachtung übereinstimmt.

Benner teilt als Ergebnis mit, daß Messungen an Patienten und an Phantomen mit der Kondensatorkammer dieselbe relative Intensitätsverteilung ergeben, wie die Berechnungen (die absoluten Werte sind allerdings zu groß). Goldhaber und Griffith zeigen ebenfalls ionometrisch, daß zwischen 0,3 und 8 cm Sievert's Formeln richtige relative Werte geben.

Mayneord's berechnete Intensitätsverteilung stimmt im allgemeinen mit seinem früher veröffentlichten ionometrischen Resultat überein; doch ist der Unterschied in Achsenrichtung des Präparates auffallend, wo sich theoretisch ein Kanal von fast unbestrahltem Raum ergibt; andererseits findet Mayneord dieses theoretische Ergebnis durch eigene photographische Versuche wie auch durch solche von Mazerès, Mallet und Gueben bestätigt (siehe Seite 37).

Die mathematische Dosierungsmethode, oder richtiger gesagt Intensitätsbestimmung, hat neben dem Vorteil, daß nicht jedes Präparat experimentell ausgewertet zu werden braucht, noch den Vorzug, daß auch in der wichtigen unmittelbaren Nähe des Präparates die Intensitätsbestimmung ermöglicht wird. Der Nachteil der schwierigen Rechenarbeit etwa bei Gebrauch der Sievert'schen Formeln wird durch Tabellen wie sie auch der Letztgenannte veröffentlicht hat, ziemlich aufgewogen. Kommt noch durch genaue klinische Kontrolle eine genügende Sicherheit in der Richtigkeit der Ergebnisse hinzu, so wird gerade die mathematische Methode das umfangreichste Material liefern können. Zusammenstellung der Formeln f. S. 78—81.

Eine für alle Arten der Bestrahlungstechnik passende Dosierungsmethode und eine absolute Dosiseinheit wäre erwünscht, weil dann die Dosimetrie von den physikalischen Bedingungen der Applikation unabhängig wäre; die praktische Dosierung aller Bestrahlungsarten in einer absoluten Einheit ist aber bis jetzt noch nicht gelungen; man muß sich also mit einer relativen Einheit begnügen, dann ist aber nötig eine Angabe physikalischer Charakteristiken (Größe und Form der Präparate, Filterstärke, Präparatstärke und Bestrahlungsdauer, Entfernung zwischen Präparat und Bestrahlungsobjekt).

Filterung.

Das Filter hat den Zweck, die Intenſität in der unmittelbaren Nähe des Präparates durch Ausſchaltung der Alpha- und Betaſtrahlen ſowie der weichen Gammaſtrahlung herabzuſetzen, zunächſt um eine beſſere Tiefenwirkung zu erhalten, oder anders geſagt, um ohne Überdoſierung des dem Präparat am nächſten liegenden Gewebes in entſprechender Entfernung die erforderliche Doſis zu erreichen. Weiter iſt die Ausſchaltung der genannten Strahlung für die Berechnung nötig, um die Strahlung zu homogeniſieren und den Abſorptionsverlauf exponentiell zu geſtalten; denn ſonſt wäre eine Berechnung in den erſten Millimetern nicht möglich, da ſich der Abſorptionskoeffizient mit wachſendem Strahlungsweg ändern würde. Schließlich noch erfordert die Ionometrie der Gammaſtrahlendoſis eine Filterung; denn es laufen ioniſierender und biologiſcher Effekt erſt dann parallel, wenn die in den erſten Millimetern wirkende Betaſtrahlung ausgeſchaltet iſt, weil, wie Quimby zeigt, die Betaſtrahlung im Verhältnis zur Gammaſtrahlung biologiſch weit wirkſamer iſt als ionometriſch (ſiehe Tabelle G).

Für Filter kommen hauptſächlich ſchweratomige Stoffe in Frage wie Platin, Gold, Meſſing, Stahl, Monel-Metall, Blei und Silber. Um den Zweck der Filterung zu erreichen, iſt eine gewiſſe Mindeſtdicke des Filters erforderlich, die ſich nach dem betreffenden Material richtet; ſie iſt ungefähr gleich der Dicke, bei der die Betaſtrahlenwirkung praktiſch ausgeſchaltet iſt. Andererſeits iſt es, wie Failla, Quimby und Dean zeigen, nicht ratſam, die Filterdicke über eine beſtimmte Größe auszudehnen, da dann die Durchdringungskraft oder prozentuale Tiefenwirkung nur noch wenig zunimmt, aber der Strahlungsbetrag, der durch das Filter dringt, ſich ſtark verringert.

Im Filter wird nun außer der harten ſekundären Gammaſtrahlung (Streuſtrahlung) eine weiche ſekundäre Betaſtrahlung erzeugt, die in den erſten Millimetern eine Zuſatzintenſität bedingt. Ihr Durchdringungsvermögen iſt ungefähr gleich dem der primären Betateilchen, die die primäre Gammaſtrahlung begleiten. Um die Sekundär-Betaſtrahlung zu entfernen, wird ein ſekundäres Filter aus einem Stoff leichten Atomgewichts empfohlen (z. B. von Failla, Quimby und Dean); dafür wird hauptſächlich Aluminium, Celluloid und Gummi verwendet.

Der Wert der Sekundärfilterung wird aber von anderer Seite z. B. von Stahel und Piccard beſtritten, da die Differenz der

Sekundärſtrahlwirkung der verſchiedenen Stoffe nur gering ſei. Um die Sekundärſtrahlung doch ausſchalten zu können, empfehlen die letztgenannten Forſcher die Anwendung eines Magnetfeldes, Anbringung von Lokaliſatoren und richtige Lage des Filters; möglich iſt dies nur bei Fernbeſtrahlung. Im Gegenſatz zu Stahel und Piccard findet Suetſugu durch biologiſche Unterſuchung an Oberflächen-Bakterien-Kulturen und durch photographiſche Verſuche übereinſtimmend, daß die ſekundäre Beta-Strahlung doch materialabhängig iſt; und zwar kommt er zu dem gleichen Ergebnis, wie vorher ſchon ionometriſch Bragg und Madſen, daß auf der in der Praxis in Betracht kommenden Austrittsſeite die ſekundäre Betaſtrahlung zunächſt mit wachſendem Atomgewicht des Sekundärſtrahlers abnimmt, dann durch ein Minimum geht (in der Nachbarſchaft der Stellenzahl des Zinn) und ſchließlich wieder bei den ſchwereren Atomen anſteigt. Danach wäre alſo ein Sekundärfilter vom Material mit einem Atomgewicht ungefähr gleich dem des Zinn am günſtigſten.

Es handelt ſich nun darum, erſtens Beziehungen in der Filterwirkung verſchiedener Dicken gleichen Materials zu finden, und zweitens äquivalente Dicken von Filtern verſchiedenen Materials zu erhalten. Dieſe Beſtimmungen müſſen biologiſch, etwa durch Erythemvergleich gemacht werden, da, wie folgende Tabelle (nach Quimby) zeigt, die Ioniſation nicht proportional der biologiſchen Wirkung bei verſchiedener Filterung iſt; die durchgelaſſene prozentuale Strahlung bei 2 mm Meſſingfilter iſt bei beiden Effekten gleich geſetzt.

Beziehung zwiſchen Ioniſation und biologiſchen Meſſungen.

Tabelle G.

Messing- + Gummi-Filter mm	Durchgelassene relative Intensität	
	Ionisation	Biolog. Messungen
0	32,5	100
0,16 + 1,2	3	25
0,32 + 1,2	1,8	7,5
0,5 + 1,2	1,3	3,0
0,75 + 2,4	1,02	1,6
1 + 2,4	0,95	1,19
2 + 2,4	0,9	0,9

Es ſind vor allem auf Erythemeffekt fußende Unterſuchungen Quimby's und ihrer Mitarbeiter, die über die Filterwirkung der wichtigſten Stoffe Aufſchluß geben; für ihre Ergebniſſe finden ſie durch experimentelle Kontrolle einen Maximalfehler von 10%. Legt man Quimby's Angaben zu Grunde, ſo ergeben ſich für die durchgelaſſene Intenſität verſchiedener Filter bezogen auf die eines 2 mm Meſſingfilters unter ſonſt gleichen Applikationsbedingungen folgende Verhältniszahlen:

Tabelle H:

Primärfilter-stärke in mm	Relative Intensität (bei 2 cm Distance)			
	Messing Stahl Monelmet.	Silber	Blei	Platin Gold Platin-Iridium
0	111	111	111	111
0,02	—	—	—	57
0,03	—	—	55	—
0,05	53,5	43,5	—	22,2
0,06	—	—	33	—
0,1	46	24,2	18,2	7,1
0,16	27,7	—	—	—
0,2	23,5	8,4	7,8	1,55
0,32	8,3	—	—	—
0,4	6,25	—	—	—
0,5	3,32	1,73	1,53	1
0,75	1,75	—	—	—
0,9	—	—	1	—
1	1,32	1,03	0,98	0,9
1,1	—	1	—	—
1,5	1,04	—	0,94	0,82
2	1	—	0,89	—

(Sekundärfilter 1—4 mm Gummi.)

Streng genommen gelten dieſe Zahlen nur bei 2 cm Entfernung von der Präparatmitte. Je größer die Entfernung wird, umſoweniger gelten die Zahlen der Tabelle H bei dünnen Filtern,

da dann im Gegenſatz zu kurzen Entfernungen die Betaſtrahlung kaum zur Wirkung kommt; ſo iſt z. B. nach Quimby und Stewart zwiſchen den Intenſitäten bei 0,5 mm und 0,2 mm Platin-Filter in einer Entfernung von 5 cm nur noch eine Differenz von 10% und bei 15 cm Entfernung ſogar nur noch eine von 5%. In vorſtehender Tabelle H würde alſo in dieſem Falle die relative Intenſität ſtatt 1,54 dann 1,1 bzw. 1,05 ſein. Die Zahlen für die relativ dicken Filter, auf die es in der Praxis hauptſächlich ankommt, können aber auch bei größeren Diſtanzen verwendet werden.

Die Doſen, die Präparate des gleichen Typus aber verſchiedener Filterung zum Hervorrufen desſelben Effektes benötigen, verhalten ſich umgekehrt wie die relative Intenſität.

Will man äquivalente Dicken verſchiedenen Filtermaterials feſtſtellen, ſo kann das mit Hilfe der Quimby'ſchen Angaben geſchehen. Zunächſt kann nach Quimby und Stewart die Filterwirkung von Meſſing, Kupfer, Stahl und Monelmetall einerſeits und von Platin, Gold und Platin-Iridium andererſeits gleich geſetzt werden, von erſteren allerdings mit weniger guter Genauigkeit. Dies Verhalten gleicher Filterwirkung läßt ſich ſchon wegen des ziemlich gleichen durchſchnittlichen Abſorptionskoeffizienten dieſer Materialgruppen für Gammaſtrahlen annehmen. Das „Standardization committee of the american radium ſociety“ nennt in einem Bericht folgende äquivalente Filterdicken:

Tabelle I.

Aequivalente Dicken verſchiedener Metallfilter.

Dicke des Primärfilters in mm				Dicke des Sekundärfilters (Gummi) mm
Pt, Au	Pb	Ag	Messing	
0,2	0,47	0,51	0,76	1
0,3	0,63	0,71	1,02	1
0,4	0,74	0,88	1,3	2
0,5	0,86	1,1	2	2
0,75	1,3	—	—	3
1	2,1	—	—	4

Stärke der Präparate und Dauer der Beſtrahlung.

Die Stärke der Präparate gibt man in Milligramm-Radium-Element (mge) oder, falls Radium-Emanation (Radon) gebraucht wird, in Milli-Curie (mc) an.

Die Beſtimmung des Gehalts an Radium-Element erfolgt am vorteilhafteſten ionometriſch durch Vergleich mit Standardpräparaten; die Genauigkeit dieſer Beſtimmung iſt auch bei ſchwachen Präparaten noch ſehr groß (1%). Der Gehalt an Radium-Element in den Radium-Salzen läßt ſich aus folgenden Angaben Kohlrauſch's errechnen:

1 g $RaCl_2$ enthält 0,7612 g Ra,
1 g $RaBr_2$ enthält 0,5857 g Ra
1 g kriſt. $RaBr_2 + 2\,H_2O$ enthält 0,5357 g Ra.

Da die Zerfallskonſtante λ des Ra

$$1{,}39 \cdot 10^{-11}\ (\text{sec})^{-1} = 4{,}38 \cdot 10^{-4}\ (\text{a})^{-1}$$

iſt, beträgt die jährliche Verringerung des Ra nur 0,0438%. Dieſe kann alſo in der Praxis unberückſichtigt bleiben.

Das Produkt aus Präparatſtärke in mge und der Zeit in Stunden (h), mgeh, wird vielfach als Maß der emittierten Doſis angegeben.

Bei Verwendung von Radium-Emanation (RaEm) geſchieht die Angabe der Präparatſtärke in Milli-Curie (mc), das iſt die Emanationsmenge, die mit 1 mg Ra in radioaktivem Gleichgewicht iſt. Sie hat ein Gewicht von $6{,}52 \cdot 10^{-6}$ mg und nimmt bei Normal-Druck und -Temperatur ein Volumen von $0{,}66 \cdot 10^{-3}\,mm^3$ ein.

10^{-7}mc/Liter wird als Eman bezeichnet; die Mache-Einheit iſt gleich 3,64 Eman.

Die Zerfallskonſtante λ der RaEm iſt

$$2.097 \cdot 10^{-6}(\text{sec})^{-1} = 0{,}0075(\text{h})^{-1} = 0{,}1812(\text{d})^{-1}.$$

Die mittlere Lebensdauer iſt folglich verhältnismäßig kurz; ſie beträgt

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = 4{,}768 \cdot 10^{5}\ \text{sec} = 133\ \text{h} = 5{,}518\ \text{d}\,.$$

Soll zur Angabe der in der Zeit h ausgeſandten Doſis analog der Milligramm-Element-Stunde (mgeh) eine ſolche in Milli-Curie-Stunde (mch) gegeben werden, ſo berechnet ſich dieſes Intenſitäts-

Zeitprodukt durch Integration der Zerfallsformel $E_t = E_o\, e^{-\lambda \cdot t}$ über die betreffende Zeit.

E_t = Stärke in mc zur Zeit t
E_o = Anfangs-mc = mc_o.

Es ergibt sich:

$$\int_o^t E_t dt = mct = \frac{1}{\lambda}\ E_o(1 - e^{-\lambda \cdot t})$$

$$= 133\ (1 - e^{-0{,}0075\ h})\ mc_o.$$

Danach sind folgende Zahlen errechnet:

Tabelle K.

Tage	Stunden h	mch
1/2	12	11,5 . mc_o
1	24	21,9
3/2	36	31,5
2	48	40,2
5/2	60	48,2
3	72	55,5
4	96	68,3
5	120	79
6	144	87,8
10	240	111
20	480	129,5

Bei Annahme von $mc_0 = 1$ entwickelt sich daraus Figur 1.

Die von Regaud und Ferroux eingeführte **mcd**-Einheit (millicuries destroyed) unterscheidet sich von der Angabe in mch nur durch den Faktor 133; denn in der letzten Formel ist

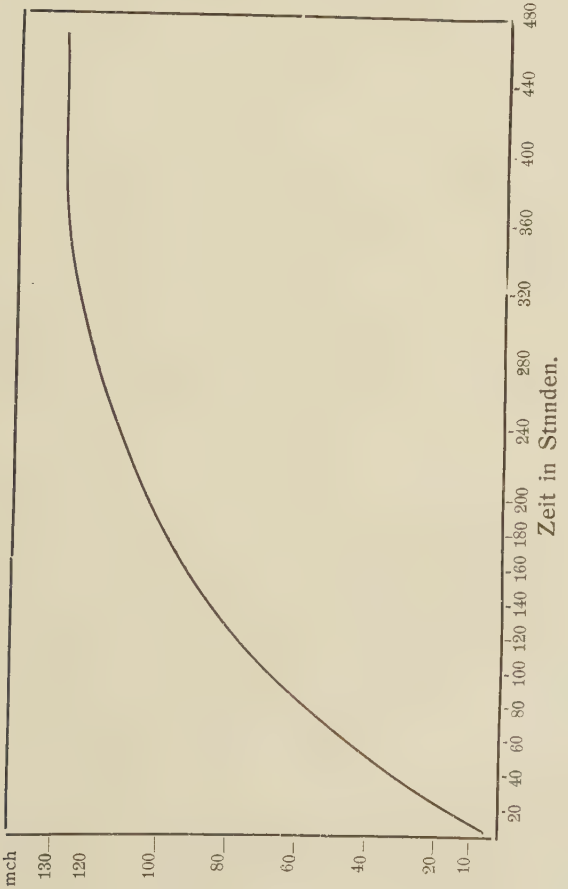
$$(1 - e^{-0{,}0075\ h})mc_o = mc_o - mc_h$$

die Zahl der zerfallenen mc.

Das Bunsen-Roscoe'sche Gesetz, welches besagt, daß ein konstantes Produkt aus Intensität und Zeit gleiche Wirkung hervorruft, gilt für Gammastrahlen in biologischer Hinsicht nicht, auch wenn alle physikalischen Bedingungen außer Stärke und Zeit gleich bleiben; auch unter konstanten Bedingungen können gleiche mgeh oder mch verschiedene Effekte hervorrufen je nach der Präparat-

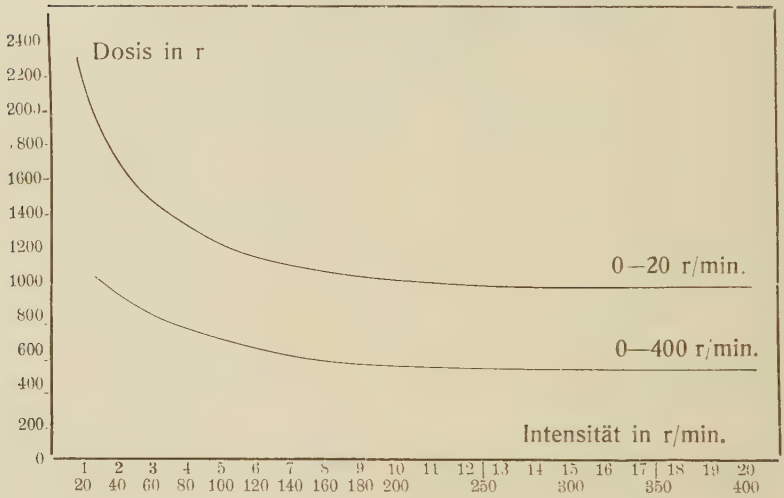
Figur I.

Beziehung zwischen Bestrahlungszeit in Stunden und gelieferten Millicurie-Stunden für Emanation, für Anfangs-mc E_0 gleich 1.



Figur 2.

Hauterythemdosis in r
in Abhängigkeit von der Strahlungsintensität in r/min.
(nach Holthusen).



ſtärke. Nach Quimby ſind ſchwächere Quellen relativ wirkſamer; dagegen finden z. B. Seitz und Wintz, Matzdorf, Hauſchting, Juul und andere bei höherer Intenſität und kürzerer Beſtrahlungsdauer den ſtärkeren Effekt. Nach Bagg und Halter und nach Spear und Grimmett gilt das Bunſen-Roskoe'ſche Geſetz von einer beſtimmten Intenſität ab, alſo bei ſtärkerer Beſtrahlung, während ſchwache Präparate einen relativ geringeren Effekt hervorrufen; der kritiſche Punkt liegt bei I = 62 Einheiten Sievert's. Eine ähnliche Abhängigkeit der Doſis von der Intenſität zeigt eine Kurve Holthuſen's (Figur 2), welche die Hauterythemdoſis in r in Abhängigkeit von der Strahlungsintenſität in r/min gibt; Neef beſtätigt die Angaben dieſer Kurve. Wird die Dauer der Beſtrahlung unterbrochen, ſo iſt noch ein Faktor zu berückſichtigen; die Geſamtdoſis gemeſſen an der biologiſchen Wirkung iſt abhängig von den Unterbrechungszeiten. Die Strahlenwirkung iſt größer, wenn auf einmal ſtatt verzettelt die gleiche emittierte Doſis gegeben wird. (Hauſchting, Friedrich und Krönig, Matzdorff, Seitz und Wintz.)

Tabellen und ein Nomogramm zur Beſtimmung kumulativer Doſen ſind von Reinhard und Goodale veröffentlicht.

Größe und Form der Präparate; Entfernung und relative Lage zwiſchen Präparat und Beſtrahlungsobjekt.

Je nach dem Beſtrahlungsfall iſt die Art der Applikationstechnik verſchieden; die Größe und Form der Präparate wie auch ihre Lagen relativ zu den Beſtrahlungsobjekten iſt ſehr mannigfaltig. Es gibt Präparate vom kleinſten „Seed", das man als Punktquelle anſehen kann, bis zum großen „Pack" und den ſogenannten Radium-Kanonen. Bei Nahbeſtrahlung liegt das Präparat ohne Zwiſchenraum dem Körper auf oder iſt in ihn eingeführt (Spickmethode). Im letzteren Falle ſind möglichſt kleine Präparate erforderlich (Nadeln, Seeds); bei Fernbeſtrahlung liegt zwiſchen dem Präparat, das in dieſem Falle verhältnismäßig ſtark iſt, und der Haut ein Zwiſchenraum aus Luft, Wachs, Holz oder dergleichen von mehreren Zentimetern.

Es wäre von Nutzen, genaue Information über den Einfluß der genannten Faktoren (Größe und Form der Präparate, Entfernung und relative Lage zwiſchen Präparat und Beſtrahlungspunkt) zu erhalten. Experimente und Berechnungen zu dieſem Zwecke wurden verſchiedentlich gemacht. Quimby veröffentlicht als Berechnungsreſultate ſogenannte Verteilungsfaktoren und Verteilungskurven (ſ. Tab. L); dieſe bedeuten das Verhältnis der Intenſität des betreffenden Präparates zu der Intenſität einer Punktquelle gleicher Stärke und Filterung in gleicher Entfernung und ſind abhängig von der Größe und Form des Applikators und ſeiner Entfernung von der Haut. Sievert gibt eine Tabelle über berechnete Faktoren, die eine Beziehung zwiſchen Nadeln verſchiedener Länge und verſchiedenen Durchmeſſers für die Entfernung 0,1 cm angeben (ſ. Tab. M). Neef bringt eine Tabelle der Intenſität in r/mgeh in Abhängigkeit von der Entfernung und von der Präparatlänge (ſ. Tab. N). Reinhard und Goltz geben eine Kurve als Reſultat von Meſſungen über die Beziehung zwiſchen Tubenlänge und Erythem bei 1 cm Entfernung. Zahlenmäßig ſind die Ergebniſſe dieſer Unterſuchungen nur gültig für den betreffenden ſpeziellen Fall; doch ergibt ſich aus ihnen und auch aus den ſonſtigen Intenſitätsbeſtimmungen allgemein folgendes:

Die Intenſität in ein und derſelben Entfernung nimmt mit wachſender Präparatgröße ab; die relativen Tiefendoſen nehmen mit wachſender Präparatgröße zu.

Dieſer Einfluß der Präparatgröße gilt vor allem bei Nahbeſtrahlung und wird mit zunehmender Entfernung geringer; denn, wie ſchon früher geſagt, iſt die Präparatgröße relativ zur Entfernung zu nehmen, das heißt von einer beſtimmten Entfernung ab kann jedes Präparat als Punktquelle angeſehen werden; z. B. iſt bei ſtabförmigen Präparaten nach Sievert der Fehler nur 8%, wenn die Entfernung gleich der Länge des Tubus iſt; und nach Mayneord iſt der Fehler nur 1%, wenn die Entfernung gleich der dreifachen Länge iſt. Auch aus den Quimby'ſchen Kurven läßt ſich erſehen, bei welcher Entfernung ein Applikator als Punkt betrachtet werden kann. Emanation-Seeds können praktiſch immer als Punkt angenommen werden, da ſie nur eine Länge von 3 bis 5 mm und einen Durchmeſſer von 0,75 bis 1,5 mm haben.

Tabelle L

Verteilungsfaktoren δ für beſtimmte Applikatoren mit 2 mm Meſſing-Filter (nach Quimby).

Entfernung cm	Tuben-Länge cm			Kreise-Durchmesser cm	
	1	2	4	2	4
	δ	δ	δ	δ	δ
1	0,925	0,778	0,545		
1,5	0,963	0,880	0,685		
2	0,978	0,925	0,778	0,887	0,685
3	0,99	0,96	0,88	0,947	0,827
4	1,0	0,978	0,935	0,970	0,887
5	1	1	0,945	0,980	0,927
6	1	1	0,96	0,986	0,947
7,5	1	1	1	0,992	0,966
10	1	1	1	1	0,980

Entfernung cm	Quadrat-Seite			Rechteck		
	2 cm	4 cm	6 cm	4.6 cm	6.9 cm	8.12 cm
	δ	δ	δ	δ	δ	δ
2	0,840	0,635	0,478	0,552	0,388	0,283
3	0,936	0,775	0,635	0,719	0,552	0,430
4	0,955	0,840	0,711	0,808	0,668	0,552
5	0,973	0,898	0,800	0,863	0,755	0,639
6	0,979	0,936	0,840	0,901	0,808	0,719
7,5	0,986	0,951	0,898	0,937	0,863	0,790
10	0,990	0,973	0,939	0,962	0,919	0,863

Figur 3.

Verteilungskurven für beſtimmte Applikatoren mit 2 mm Meſſingfilter (nach Quimby).

I. Punktquelle.
II. Tube, Länge a.
III. Kreis, Durchmeſſer a.
IV. Quadrat, Seite a.
V. Rechteck, kleine Seite a.

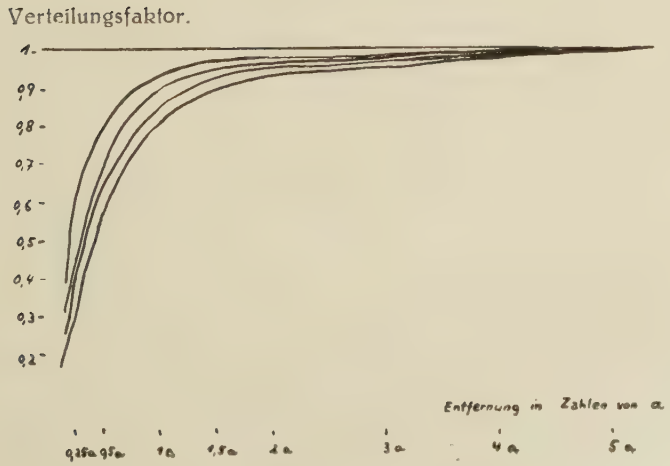


Tabelle M

Verhältniszahlen der Behandlungszeiten verſchiedener Nadeln zu der Behandlungszeit einer Normalnadel zum Hervorrufen des gleichen Effektes. Normalnadel: 1 cm Länge der Ra-Füllung, 2 mm äußerer Durchmeſſer. Entfernung 0,1 cm. Gleiche Präparatſtärke bei allen Nadeln (nach Sievert).

Länge mm	Aeußerer Durchmesser mm						
	1,5	1,75	2	2,25	2,5	2,75	3
5	0,40	0,47	0,56	0,64	0,73	0,84	0,91
10	0,75	0,86	1,00	1,13	1,27	1,41	1,55
15	1,1	1,26	1,45	1,64	1,83	2	2,2
20	1,44	1,66	1,92	2,16	2,4	2,64	2,88

Tabelle N

Erythemdoſis in r/mgeh in Abhängigkeit von verſchiedenen Abſtänden und verſchiedenen Präparatlängen (nach Neef).

Länge mm	Abstände mm					
	5	7,5	10	15	20	25
10	18,2	9,9	6,3	2,9	1,8	1,1
20	11	6,6	4,4	2,1	1,3	0,8
30	7,4	4,7	3,1	1,6	1,1	0,7
40	5,4	3,6	2,5	1,4	0,9	0,6
50	4,2	3	2	1,2	0,9	0,6
60	3,6	2,5	1,8	1,1	0,8	0,5

Bei Nahbeſtrahlung kommt noch der Einfluß der Form des Präparates auf die Intenſität hinzu; hat das Präparat keine Kugelform, ſo haben Punkte gleicher Entfernung nicht auch gleiche Intenſität, ſondern je nach ihrer relativen Lage zum Präparat eine verſchiedene Intenſität. Beſonders bei länglichen Präparaten (Nadeln) und Applikatoren aus mehreren Nadeln hat man die

Intenſitätsverteilung in Präparatnähe genauer unterſucht und durch Linien gleicher Intenſität (Iſointenſitätslinien, Iſodynamen, Iſodoſen) zu demonſtrieren geſucht; bei der Bezeichnung Iſodoſen wird konſtante Zeit vorausgeſetzt. Übereinſtimmend wird gefunden, daß in der Ebene, die ſenkrecht durch das Präparatzentrum geht, der Abfall der Intenſität relativ am geringſten iſt, d. h. daß die Iſointenſitätslinien dort die größte Entfernung vom Präparat haben. In unmittelbarer Nähe paſſen ſie ſich der Präparatform ziemlich an, aber mit wachſender Entfernung nähern ſie ſich mehr und mehr der Kugelform. Doch die genaue Form der Iſointenſitätslinien ſteht nicht übereinſtimmend feſt, wobei ſich bei einer einzelnen Nadel der Unterſchied beſonders auf die Richtung in Verlängerung der Achſe bezieht. Allgemein ſteht durch Meſſungen z. B. von Friedrich und Glaſſer feſt, daß dort die Intenſität in beſtimmter Entfernung kleiner iſt als ſenkrecht zur Achſe ſowohl in der Mitte wie auch am Ende. Die Beſtimmungen der genaueren Form ergeben aber folgende voneinander abweichende Reſultate:

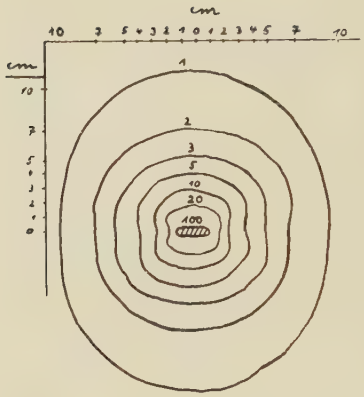
Mazerès und Mayneord fanden theoretiſch und durch photographiſche Kontrolle eine Magnetlinienform der Iſointenſitätslinien, wobei ſich in Verlängerung der Achſe ein Kanal von faſt unbeſtrahltem Raum ergibt.

Eine Beſtimmung durch eine radiographiſche Methode von Zuppinger und von Guében ergab wohl eine Magnetlinienform, die aber in Achſenrichtung eine Ausbuchtung zeigte (Achſialſtrahlung).

Ionometriſch erhaltene Iſointenſitätslinien von Coliez und Mallet und von Goldhaber und Griffith laſſen in der Nadelebene in Verlängerung der Nadelachſe eine Einbuchtung erkennen. Zu gleichem Ergebnis führen Meſſungen Keller's.

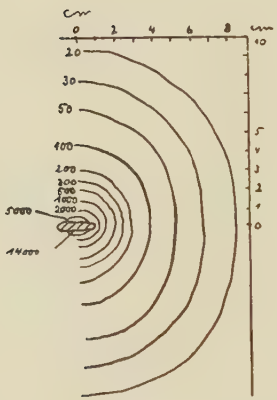
In Figur 4 ſind einige experimentell erhaltene Iſodoſenkurven verſchiedener Präparate in den Einheiten der Originalarbeiten wiedergegeben.

Figur 4.



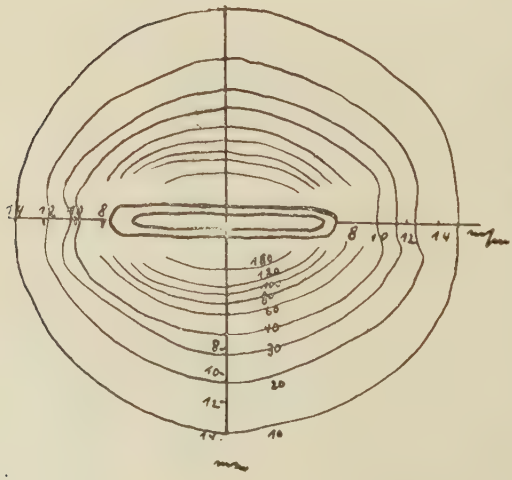
Ionometrisch bestimmte Isodosen eines 10 mg-Röhrchens von 2 cm Länge, Filter 2 mm Pt (nach Coliez und Mallet).

10 cm



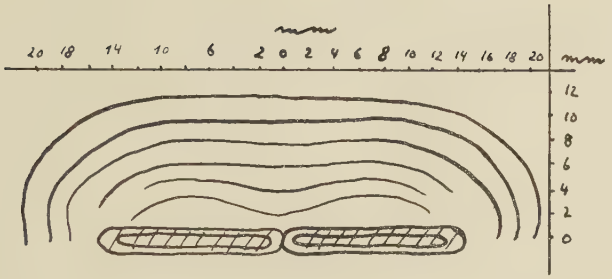
Isodosen einer 1 mg-Tube, Filter 1 mm Pt, Länge 2,17 cm in erg/cm³ mgeh (nach Murdoch).

4 cm



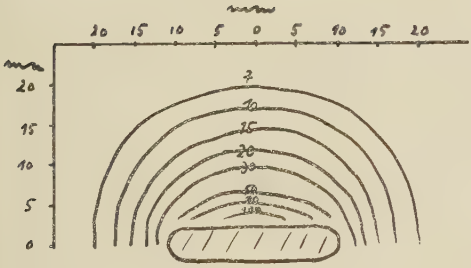
Isodosen eines 10 mg-Präparates von 1,2 cm Länge, Filter 0,3 mm Platin-Iridium in willkürlichen Einheit., bestimmt mit einer Graphitkammer vom Volumen 3,1 mm³ im Wasserphantom (Nach Goldhaber und Griffith).

1 cm



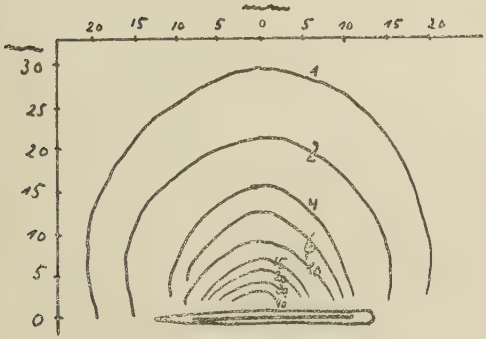
Isodosen von 2 Präparaten obiger Art.

1 cm



Isodosen einer Tube von der Länge 2,16 cm, dem Durchmesser 0,41 cm, Filter 1,4 mm Pt, bestimmt mit einer Flüssigkeits-ionisationskammer vom Volumen 2 mm³ im Wasserphantom. (nach S t a h e l).

1 cm



Isodosen einer Nadel der Stärke 5,12 mg RaEl, der akt. Länge 1,5 cm, Filter 0,5 mm Pt. in r/mgeh, bestimmt mit einer kleinen Ionisationskammer (nach M a y n e o r d).

1 cm

Die Verſchiedenheit der Iſodoſenform iſt ein Effekt der Filterung; bei filterloſen Emanationskapillaren trat die Achſialſtrahlung nicht auf (Zuppinger); und wie die Iſodoſen Goldhaber und Griffith's zeigen, bringt ſchon ein kleiner Unterſchied in der Filterdicke eine Änderung der Iſointenſitätslinien mit ſich. Nach Stahel iſt der Effekt im Waſſerphantom wegen der geſtreuten Gammaſtrahlung geringer als bei Meſſungen in Luft. Mayneord konſtruierte eine Nadel, die durch paſſende Wahl des Filters (Elektronmetall) den Effekt der Filterung bei den Nadelenden vermeiden ſoll.

Meſſungen über die Intenſitätsverteilung in der Nähe eines aus mehreren Nadeln zuſammengeſetzten Präparates wurden vereinzelt mitgeteilt, ſo z. B. von Friedrich und Glaſſer für 3 Tuben und von Goldhaber und Griffith für 2 Tuben in Reihe und von Coliez und Mallet für 2 parallele Tuben.

Relative Zahlen über die Verteilung der Intenſität um einzelne Nadeln verſchiedener Länge und um Nadelgruppen wechſelnder Anordnung wurden von Quimby berechnet und in Form von Iſointenſitätslinien und Diagrammen veröffentlicht, die ein anſchauliches Bild von der je nach der Anordnung der Nadeln verſchiedenen Intenſitätsverteilung geben (ſ. Figur 5).

Figur 5 (nach Quimby).

Relative Intenſitäten (in Prozent einer Punktquelle bei 1 cm Entfernung) mitten zwiſchen 2 benachbarten Nadeln für Anordnungen von 2 bis 5 Nadeln von 4 bzw. 6 cm Länge in einer Ebene. Präparatſtärke gleich 1. Zwiſchenräume von Nadel zu Nadel 1,5 bis 3 cm.

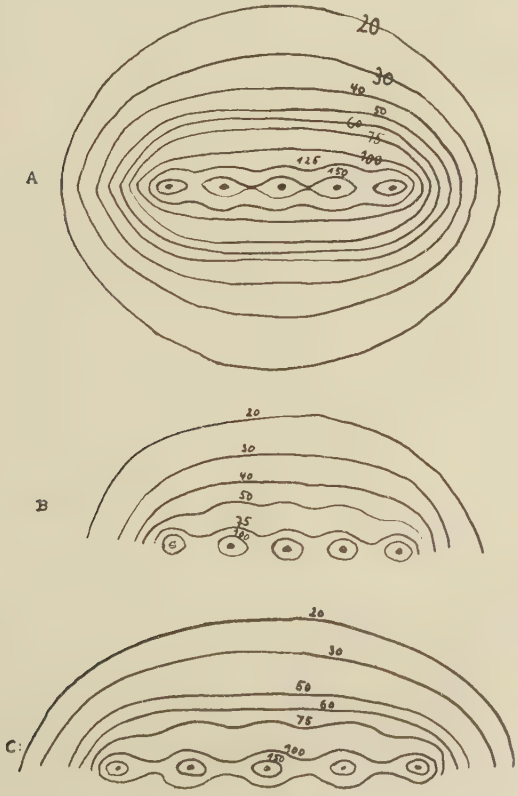
4 cm Nadeln	6 cm Nadeln
186	180
202 202	145 145
208 218 208	150 173 150
212 224 224 212	154 179 179 154
Zwischenräume 1,5 cm	
105	86
115 115	95 95
119 125 119	99 103 99
122 129 129 122	102 107 107 102
Zwischenräume 2 cm	

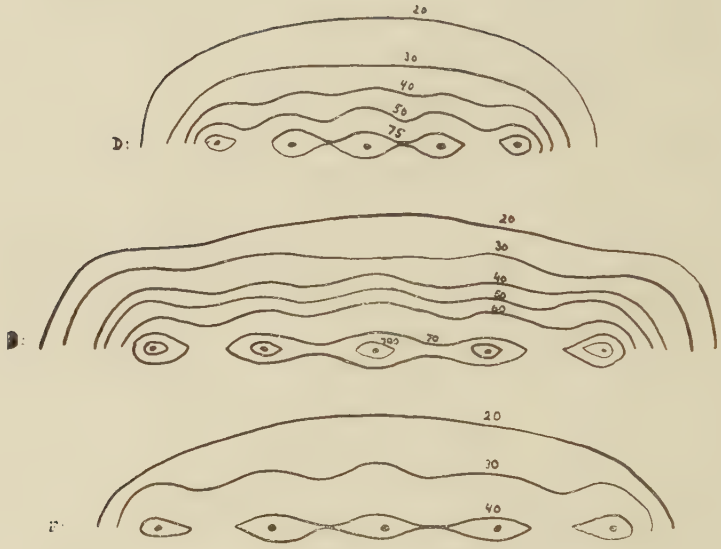
◆ 62 ◆
◆ 68 ◆ 68 ◆
◆ 70 ◆ 74 ◆ 70 ◆
◆ 72 ◆ 76 ◆ 76 ◆ 72 ◆
Zwischenräume 3 cm

Figur 5 (Fortſetzung).

Berechnete Strahlungsverteilung für Anordnungen von 5 Nadeln der Länge 6 cm in einer Ebene bei 1,5 und 2 und 3 cm Zwiſchenräumen (nach Quimby).

A, C und E ſenkrecht zur Nadelebene in der Mitte der Nadel, B, D und F an ihrem Ende (Maßſtab 1:2).





Bei der **Fernbeſtrahlung** intereſſiert neben der Intenſität auf der Oberfläche (Haut) der Wert der relativen Tiefenintenſität, d. i. das Verhältnis zwiſchen der Intenſität in einer beſtimmten Tiefe unter der Haut und der Oberflächenintenſität. Allgemein gilt, daß bei ſonſt gleich bleibenden äußeren Bedingungen mit anwachſender Diſtanz zwiſchen Präparatzentrum und Oberfläche die relative Tiefenintenſität ſteigt.

Nach ionometriſchen Meſſungen Reinhard's iſt der zwiſchen Präparat und Oberfläche befindliche Stoff (Luft, Wachs uſw.) ohne Einfluß auf die Intenſität, falls bei Luftzwiſchenraum das Sekundärfilter an der Oberfläche (Haut) und nicht am Präparat liegt; im andern Falle iſt die Intenſität bei Luftzwiſchenraum relativ größer.

Sievert und Reinhard zeigen experimentell, daß eine Begrenzung des Strahlenbündels, alſo eine Änderung der Feldgröße keinen nennenswerten Einfluß hat.

Meſſungs- und Berechnungsreſultate.

Es ſei der Verſuch gemacht, das durch Experiment und Berechnung erhaltene Material zuſammenzuſtellen und zu vergleichen; das iſt in den Tabellen I—X geſchehen. Es handelt ſich zunächſt

um Berechnung ohne und danach mit Berückſichtigung der Abſorption, dann um eine Methode, die das experimentelle Reſultat für ein Standard-Präparat als Grundlage hat und für zuſammengeſetzte Präparate danach die Intenſität berechnet, und ſchließlich um die Meſſungsergebniſſe.

Zu Tabelle 1—IV.

Es wurden die Intenſitätswerte relativ zu dem Intenſitätswert einer Punktquelle im Abſtande 1 cm für Präparate verſchiedener Form und Größe mit Hilfe der Formeln auf Seite 78/81 berechnet, und zwar die Intenſität in Abhängigkeit von der Form und Größe des Präparats und von dem Abſtande des Präparatzentrums vom betreffenden Punkte, an dem die Intenſität beſtimmt werden ſoll, ohne Berückſichtigung der Abſorption im Filter und Gewebe, alſo unter Annahme der Kompenſation von Abſorption und Streuſtrahlung. Die Intenſitätswerte für quadratförmige und rechteckige Applikatoren (Tabelle IV) ſind Berechnungen Quimbys, die nach der auf Seite 23 angegebenen Methode gewonnen wurden. Da in Präparatnähe die Intenſität ſich ſtark ändert und gerade dort die Meſſungen ſchwierig ſind, wurde die Berechnung vor allem für kurze Entfernungen vom Präparat gemacht. Von einer beſtimmten Entfernung ab, die ſich nach der Größe des Präparates richtet, können nach den Ausführungen auf Seite 34 die Intenſitätswerte einer Punktquelle (Tabelle I A) genommen werden. Die Präparatſtärke iſt ſtets gleich 1 geſetzt. Nicht anwendbar ſind die Tabellen I—IV für Präparate verſchiedener Filterſtärke; in dieſem Falle müßte zunächſt eine Umrechnung etwa mit Hilfe der in Tabelle H gegebenen relativen Intenſitäten bei verſchiedenen Filterſtärken vorgenommen werden.

Zu Tabelle I:

Im Falle der nadelförmigen Präparate wurde die Berechnung für 3 Richtungen ausgeführt, und zwar in Richtung der Mittelſenkrechten zur Nadelachſe, dann in Richtung der Senkrechten zur Nadelachſe an ihrem Ende und ſchließlich in Verlängerung der Nadelachſe; auch im letzten Falle wurde die Entfernung vom Präparatmittelpunkt aus gerechnet, nicht vom Nadelende aus; die Entfernung vom Nadelende aus unterſcheidet ſich davon um die halbe Präparatlänge. Die Änderung der Intenſität in 1 cm Abſtand mit

wachſender Präparatlänge hat den gleichen relativen Verlauf, wie die, welche ſich aus einer Beziehung zwiſchen Tubenlänge und Erythemdoſis nach Meſſungen Reinhard und Goltz's ergibt; denn ſetzt man die relative Intenſität bei einer Präparatlänge von 2,15 cm gleich 0,76 (dem Wert der Tabelle I), dann erhält man folgende Zahlen:

Präparatlänge cm:	0,3	2,15	3,1	6,45
Relative Intenſitäten nach Tab. I	0,97	0,76	0,65	0,384
Nach Reinhard u. Goltz	0,97	0,76	0,64	0,39

(errechnet nach deren Erythemdoſen für verſchiedene Tubenlängen).

Zu Tabelle II:

Im Falle von Präparaten der Form einer Kreisperipherie wurde die Intenſität ſenkrecht zur Kreisebene im Mittelpunkt, ſodann ſenkrecht zur Kreisebene an der Peripherie und in der Kreisebene innerhalb und außerhalb des Kreiſes berechnet. Praktiſch wird ein einzelnes Präparat dieſer Form wohl kaum in Frage kommen; doch wird ſie angenähert erhalten durch Anordnung mehrerer kleiner Präparate auf einem Kreis.

Zu Tabelle III:

Im Falle der kreisrunden Scheibe ſind die Berechnungen für die Richtung ſenkrecht zur Scheibenebene in deren Mittelpunkt und an deren Rand durchgeführt.

Zu Tabelle V und VI:

Dieſe ſind berechnet nach den Formeln Sievert's, welche die Abſorption im Filter und Gewebe berückſichtigen, und zwar Tabelle V für nadelförmige Präparate im Gewebe. Die angegebenen Zahlen ſind aber nicht hierbei die, welche direkt durch die Formelberechnung erhalten werden, ſondern ſind zum Zwecke des Vergleichs bei 1 cm Abſtand von der Nadelachſe den Zahlen der Tabelle I gleichgeſetzt, unterſcheiden ſich alſo von den nach den Sievert'ſchen Formeln erhaltenen Werten durch den Abſorptionsfaktor des jeweiligen Präparats bei 1 cm Abſtand, was in den Formeln bei Tabelle V durch den Faktor a angedeutet iſt. In Tabelle VI ſind die Reſultate für Tiefenintenſitäten in Prozent der Oberflächenintenſität bei Annahme der Punktförmigkeit der Strahlungs-

quelle gegeben, und zwar für verſchiedene Diſtanzen (Luft) zwiſchen Präparat und Oberfläche und für verſchiedene Filter.

Vergleicht man Tabelle V mit Tabelle I, ſo erſieht man, daß gerade für die kurzen Abſtände bis zu 1 cm die Einrechnung der Abſorption einen Unterſchied in den relativen Intenſitäten von höchſtens 5% ausmacht, daß es alſo in dieſem Falle ziemlich gleich iſt, welche Formeln man wählt; man kommt ſomit bei kurzen Entfernungen vom Präparat mit den einfacheren Formeln, die die Abſorption unberückſichtigt laſſen, aus. Bei den Abſtänden über 1 cm jedoch wird die Differenz bedeutend. Ob nun aber überhaupt die Berechnung für die kurzen Abſtände richtige relative Werte gibt und welche Art der Berechnung bei größeren Abſtänden vorzuziehen iſt, darüber kann nur ein Vergleich mit den Meſſungsreſultaten Aufſchluß geben

Zu Tabelle VII und VIII:

Dieſe Tabellen nach Reinhard und Goltz beruhen auf den experimentell erhaltenen Intenſitätswerten für eine Tube von 2,15 cm Länge und 4 mm äußerem Durchmeſſer mit einem Filter von 1 mm Pt; bei den Meſſungen wurde eine Ioniſationskammer aus graphitiertem Bakelit vom äußeren Durchmeſſer von 9 mm und von einer Wanddicke von 0,25 mm im Wachsphantom gebraucht. Für irgend eine Anordnung aus mehreren Tuben wurde die Geſamtintenſität an einem Punkte durch Addition der von jeder einzelnen Tube erhaltenen Intenſität errechnet. Die Tuben ſind parallel zueinander angeordnet im Abſtand 1 bzw. 2 cm von Tube zu Tube. Die Stärke iſt bei jeder Anordnung gleich 1, nicht alſo gleich dem Produkt aus Tubenzahl und Stärke der einzelnen Tube. Es handelt ſich hierbei um etwas Anderes als bei den Tabellen I bis IV, wo in jedem Falle das Präparat mit ſtrahlender Subſtanz gleichmäßig angefüllt gedacht war; bei der Tabelle VII handelt es ſich um die Geſamtintenſität einer Anordnung voneinander getrennter Strahlungsquellen bezogen auf die Intenſität einer einzelnen Quelle, in ähnlicher Weiſe, wie von Quimby Berechnungen für verſchiedene Nadelkombinationen durchgeführt wurden. Die Tiefenintenſitäten der Tabelle VIII ſind für Wachs, zwiſchen Präparat und Oberfläche ſich befindend, berechnet; die ſo erhaltenen Zahlen laſſen ſich aber auch für Luftzwiſchenraum gebrauchen, wenn, wie Reinhard experimentell fand, an der Oberfläche ein Sekundärfilter liegt.

Zu Tabelle IX und X:

Tabelle IX und X ist eine Zusammenstellung der experimentell erhaltenen Intensitätswerte, und zwar Tabelle IX A bei Messungen durch Luft (Oberflächenintensitäten), IX B bei Messungen im Phantom von gleicher Absorptions- und Streuungseigenschaft wie Gewebe und Tabelle X eine Zusammenstellung der prozentualen Tiefenintensitäten. Die Messungsarten wurden, soweit bekannt, angegeben. Die Intensitätswerte sind in den in den Originalarbeiten gewählten Einheiten wiedergegeben; mit ihnen werden die nach Tabelle I bis IV berechneten Werte verglichen, wobei diese bei der jedesmal angegebenen Entfernung mit dem experimentellen Wert gleichgesetzt werden, um den relativen Intensitätsverlauf bei Experiment und Berechnung vergleichen zu können. Bei den experimentell erhaltenen Intensitäten ist es allerdings nicht sicher, ob in allen Fällen die Entfernung wie bei den Berechnungen vom Präparatzentrum aus gemessen ist und nicht von der Präparatoberfläche und ob die Angabe der Größe des Präparats sich nur auf die strahlende Substanz bezieht oder die Präparathülle mit Filter eingerechnet ist. Doch da es sich nur um wenige Millimeter handelt, würde diese Unbestimmtheit nur für die kürzesten Entfernungen von den Präparaten einen Einfluß haben, wo die Fehlergröße beim Experiment sowieso verhältnismäßig groß ist.

Zu Tabelle IX A:

Hier sind es Ergebnisse von Messungen durch Luft, die also ein Maß der Oberflächenintensität geben sollen. Dabei kann man gute Übereinstimmung der Berechnung mit den ionometrischen Messungen, bei denen ein Rückstreuungsphantom verwendet wurde, feststellen. Nicht so gut ist die Übereinstimmung mit den Erythemmessungen für ein Präparat bei verschiedenen Distanzen und für Präparate verschiedener Größe.

Zu Tabelle IX B:

Hierbei handelt es sich um Messungen im Phantom, das gleiche Verhältnisse wie im Gewebe geben soll. Die Ergebnisse beziehen sich also auf eine solche Bestrahlungsart, bei der die Präparate in das Gewebe eingeführt sind oder von ihm durch ein Phantom gleicher Eigenschaften bezüglich Absorption und Streuung wie das Gewebe getrennt sind. Mit Ausnahme von den Messungen Quimby's und Goldhaber und Griffith's sind leider keine In-

tenſitätswerte für kürzere Entfernung als 1 cm vorhanden, ſodaß man dafür keine genügende Gewähr hat, ob die Berechnungen dort richtige relative Werte liefern. Da aber bei größeren Entfernungen die experimentellen Ergebniſſe für Präparate mit einer Filterſtärke von mindeſtens äquivalent 0,5 mm Pt mit den Berechnungen nach Tabelle I bis IV eine auffallend gute Übereinſtimmung haben, darf man wohl annehmen, daß auch für die kürzeren Entfernungen die Berechnungen eine angenähert richtige Information über die Intenſitätsverteilung geben, vorausgeſetzt, daß die Filterung ſtark genug iſt.

Zu Tabelle X:

Dieſe Tabelle enthält die Meſſungsreſultate über die Intenſitäten in beſtimmten Tiefen unter der Oberfläche in Prozent der Oberflächenintenſität bei verſchiedenen Entfernungen zwiſchen Präparat und Oberfläche, wobei bis auf eine Ausnahme (Reinhard und Goltz) ſich Luft zwiſchen Präparat und Oberfläche befindet. Die Berechnung nach Tabelle I bis IV liefert im allgemeinen Werte, die mit den experimentell erhaltenen gute Übereinſtimmung zeigen. Vergleicht man aber die experimentellen Tiefenintenſitäten für z. B. 10 und 20 cm Luftdiſtanz mit den in Tabelle VI, die die Abſorption berückſichtigt, gegebenen, ſo erkennt man, daß die experimentellen Tiefendoſen weit weniger ſchnell mit der Tiefe abfallen, als die nach Tabelle VI berechneten. Allerdings iſt in Tabelle VI die Berechnung nur für Punktquellen durchgeführt; doch iſt die Intenſität bei 10 cm und erſt recht bei 20 cm Entfernung auch bei größeren Präparaten nur noch wenig von den Intenſität einer Punktquelle verſchieden; und das Seed der Tabelle X kann ja ohne weiteres als Punktquelle angeſehen werden.

Tabelle I.

Relative **Intenſitäten nadelförmiger Präparate** berechnet unter Berückſichtigung des Abſtandes und der Präparatlänge Stärke der Präparate in allen Fällen gleich 1.

A: Auf der Mittelpunktsnormalen

Formel: $I = \frac{1}{L\ a}\ 2\ \text{arc tg}\ \frac{L}{2\ a}$

Abstand a cm	Punktquelle $I = \frac{1}{a^2}$	Länge des Präparats cm					
		0,3	0,5	1	1,2	1,5	2
0,05	400	167	110	59	49,5		
0,075	178	99	68	37,8	32	26,1	19,8
0,1	100	65,5	47,5	27,4	23,3	19,2	14,7
0,15	44,4	35,0	27,5	17,0	14,7	12,2	9,5
0,2	25	21,3	17,8	11,9	10,4	8,65	6,85
0,3	11,1	10,2	9,2	6,9	6,1	5,3	4,27
0,5	4	3,73	3,7	3,14	2,92	2,6	2,23
0,75	1,78	1,7	1,7	1,55	1,5	1,4	1,23
1	1	0,97	0,96	0,92	0,9	0,86	0,78
1,5	0,444	0,44	0,44	0,43	0,42	0,41	0,39
2	0,250	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,23
3	0,111			0,11	0,11	0,107	0,105
4	0,0625					0,06	0,06
5	0,0400					0,04	0,038
6	0,0278						0,0266
7	0,0204						
7,5	0,0178						
8	0,0156						
10	0,01						
12	0,0070						
15	0,0044						
20	0,0025						

Tabelle I (Fortsetzung).

A: Auf der Mittelpunktsnormalen

Formel: $I = \frac{1}{L\ a}\ 2\ \text{arc tg}\ \frac{L}{2\ a}$

Abstand a cm	Länge des Präparats cm					
	2,15	2,28	2,5	3	5	7,75
0,05						
0,75			16,1	18,5	8,2	5,35
0,1	13,8	13	11,9	10	6,12	3,97
0,15				6,5	4,7	
0,2	6,45	6,15	5,65	4,78	2,98	1,96
0,3	4	3,83	3,56	3,04	1,92	1,28
0,5	3,1	2,02	1,9	1,66	1,1	0,74
0,75	1,2	1,16	1,1	0,98	0,682	0,475
1	0,76	0,745	0,72	0,653	0,476	0,34
1,5	0,388	0.38	0,373	0,35	0,272	0,206
2	0,228	0,228	0,224	0,216	0,18	0,14
3	0,105	0,105	0,104	0,102	0,093	0,0785
4	0,06	0,06	0,058	0,058	0,056	0,05
5	0,038	0,038	0,038	0,0373	0,0368	0,034
6	0,0264	0,0263	0,026	0,0260	0,0260	0,0247
7	0,02	0,02	0,0194	0,0194	0,0191	0,0184
7,5			0,017	0,0169	0,0164	0,0163
8			0,015	0,015	0,0145	0,0145
10				0,0097	0,0096	0,0094
12					0,00666	0,0065
15					0,00426	0,0042
20					0,0024	0,0024

B: Senkrecht zum Nadelende

Formel: $I = \frac{1}{L\,a}\ \text{arc tg}\ \frac{L}{a}$

Abstand a cm	Länge des Präparats L cm						
	0,3	0,5	1	1,5	2	3	5
0,05	93	59	30,5				
0,075	59	37,8	20,0	13,5	10,2	6,85	4,15
0,1	41,7	27,4	14,7	10,0	7,6	5,10	3,10
0,15	24,7	17,0	9,45	6,55	5,0	3,38	2,05
0,2	16,2	11,9	6,85	4,80	3,68	2,50	1,52
0,3	8,7	6,9	4,25	3,05	2,37	1,63	1,00
0,5	3.6	3,14	2,25	1,67	1,33	0,93	0,59
0,75	1,67	1,57	1,23	0,99	0,805	0,59	0,38
1	0,95	0,92	0,785	0,65	0,555	0,417	0,274
1,5	0,42	0,413	0,393	0,35	0,308	0,278	0,170
2	0,242	0,240	0,230	0,213	0,196	0,162	0,119
3		0,107	0,103	0,102	0,098	0,087	0,069
4		0,060	0,060	0,058	0,057	0,053	0,045
5		0,040	0,038	0,038	0,037	0,036	0,0314
6							
7							
7,5					0,0167	0,0167	0,0157
8							
10					0,0095	0,0095	0,0092
12							0,0065
15							0,0041
20							0,0024

C: In Verlängerung der Achse

Formel: $I = \frac{1}{(b + \frac{L}{2})(b - \frac{L}{2})}$

Entfernung b von der Präparatmitte cm	Länge des Präparats L cm					
	0,5	1	1,5	2	2,5	3
0,3	36,4					
0,35	16'7					
0,5	5,33					
0,6		9,1				
0,75	2,00	3,2				
0,85			6,25			
1,0	1,07	1,33	2,28			
1,1				4,76		
1,2				2,27		
1,3				1,45		
1,35					3,85	
1,5	0,46	0,5	0,59	0,8	1,45	
1,6						3,23
1,75				0,485		1,23
2	0,254	0,267	0,30	0,333	0,41	0,57
2,1						
2,2						
2,5						
2,6						
3	0,112	0,114	0,12	0,125	0,135	0,148
4		0,0635	0,065	0,0667	0,069	0,073
5			0,041	0,0417	0,0425	0,044
6			0,028	0,0286	0,0290	0,0296
7			0,0206	0,0208	0,0210	0,0214
7,5				0,0181	0,0183	0,0185
8				0,0159	0,0160	0,0162
10					0,0102	0,0102
12						
15						
20						

C: In Verlängerung der Achse

Formel: $I = \frac{1}{(b + \frac{L}{2})(b - \frac{L}{2})}$

Entfernung b von der Präparatmitte cm	Länge des Präparats L cm		
	4	5	7,75
0,3			
0,35			
0,5			
0,6			
0,75			
0,85			
1,0			
1,1			
1,2			
1,3			
1,35			
1,5			
1,6			
1,75			
2			
2,1	2,14		
2,2	1,2		
2,5	0,445		
2,6		1,96	
3	0,2	0,364	
4	0,0833	0,102	1,01
5	0,0476	0,0533	0,1
6	0,0313	0,0336	0,0476
7	0,0222	0,0234	0,0294
7,5	0,0191	0,0200	0,0242
8	0,0167	0,0173	0,0204
10	0,0104	0,0107	0,0118
12		0,00725	0,00775
15		0,00457	0,00475
20		0,00254	0,0026

Tabelle II

Relative **Intenſitäten für Präparate von der Form der Peripherie von Kreiſen** verſchiedenen Durchmeſſers 2 R berechnet unter Berückſichtigung des Abſtandes und der Präparatgröße. Stärke der Präparate in allen Fällen gleich 1.

A: Auf der Normalen im Mittelpunkt der Kreisebene.

$$\text{Formel: } I = \frac{1}{a^2 + R^2}$$

Abstand a von der Kreisebene cm	Durchmesser des Kreises 2 R cm				
	1	2	4	6	10
0	4	1	0,25	0,111	0,04
0,1	3,85	0,99	0,249	0,111	0,04
0,2	3,45	0,96	0,248	0,110	0,04
0,3	2,94	0,92	0,244	0,110	0,04
0,5	2,00	0,80	0,235	0,108	0,0396
0,75	1,23	0,64	0,219	0,105	0,0392
1	0,80	0,50	0,200	0,100	0,0385
1,5	0,40	0,308	0,160	0,089	0,0367
2	0,238	0,20	0,125	0,077	0,0345
3	0,108	0,10	0,077	0,055	0,0294
5	0,03 6	0,0385	0,0345	0,0294	0,0200
6				0,0222	0,0164
7				0,0172	0,0135
8				0,0137	0,0112
9				0,0111	0,0094
10	0,01	0,0099	0,0096	0,0092	0,0080
12				0,00655	0,0059
15				0,00427	0,0040

Tabelle II (Fortsetzung).

B: Auf der Normalen zur Kreisebene an der Peripherie.

Formel: $I = \frac{1}{\sqrt{a^4 + 4a^2R^2}}$

Abstand a von der Kreisebene cm	Durchmesser des Kreises 2 R cm				
	1	2	4	6	10
0,1	9,95	5,0	2,5	1,667	1,0
0,2	4,90	2,49	1,25	0,833	0,5
0,3	3,19	1,65	0,83	0,555	0,333
0,5	1,79	0,97	0,50	0,332	0,20
0,75	1,07	0,62	0,328	0,220	0,133
1	0,70	0,447	0,242	0,146	0,100
1,5	0,37	0,266	0,156	0,108	0,066
2	0,224	0,177	0,112	0,079	0,049
3	0,105	0,0925	0,067	0,050	0,032
5	0,039	0,0372	0,031	0,0256	0,0179
6				0,0196	0,0143
7				0,0155	0,0117
8				0,0125	0,0098
9				0,0103	0,0083
10		0,0098	0,0093	0,0086	0,0071
12				0,0062	0,00535
15				0,0041	0,00370

C: In der Kreisebene

Formel: $I = \frac{1}{b^2 - R^2}$

b = Entfernung vom Mittelpunkt des Kreises
2 R = Durchmesser des Kreises.

b	2R = 1	b	2R = 2	b	2R = 4	b	2R = 6	b	2R = 10
0	4	0	1	0	0,25	0	0,111	0	0,04
0,1	4,17	0,1	1,01	0,5	0,267	1	0,125	1	0,0417
0,2	4,76	0,2	1,04	1	0,333	2	0,2	3	0,0625
0,3	6,25	0,5	1,33	1,5	0,57	2,5	0,364	4	0,111
0,4	11,11	0,8	2,78	1,9	2,56	2,9	1,70	4,5	0,21
0,45	21,0	0,9	5,26	1,95	5,06	2,95	3,36	4,9	1,01
		0,95	10,25					4,95	2,0
0,55	19,0	1,05	9,75	2,05	4,94	3,05	3,30	5,05	2,0
0,6	9,1	1,1	4,76	2,1	2,44	3,1	1,64	5,1	0,99
0,7	4,17	1,2	2,27	2,2	1,19	3,2	0,805	5,2	0,49
0,8	2,56	1,5	0,80	2,5	0,445	3,5	0,308	5,5	0,19
0,9	1,79	2	0,333	3	0,200	4	0,143	6	0,091
1	1,33	3	0,125	4	0,083	5	0,063	7	0,0417
1,5	0,50	5	0,0417	5	0,048	7,5	0,021	7,5	0,032
2	0,27	10	0,0101	10	0,0104	10	0,011	10	0,0133
3	0,114							12	0,0084
5	0,040							15	0,0050

Tabelle III

Relative Intenſitäten für Präparate von der Form kreisrunder Scheiben verſchiedenen Durchmeſſers 2 R berechnet unter Berückſichtigung des Abſtandes und der Präparatgröße.

Stärke der Präparate in allen Fällen gleich 1.

A: Auf der Normalen zur Scheibenebene im Mittelpunkt.

$$\text{Formel: } I = \frac{1}{R^2} \ln \frac{R^2 + a^2}{a^2}$$

Abstand a von der Scheibenebene cm	Durchmesser der Scheibe 2 R cm					
	1	2	4	6	8	10
0,075	15,3	5,2	1,64	0,82	0,50	0,336
0,1	13,0	4,6	1,5	0,755	0,46	0,312
0,15	10,0	3,82	1,3	0,665	0,41	0,280
0,2	7,9	3,26	1,15	0,600	0,375	0,257
0,3	5,3	2,50	0,955	0,510	0,324	0,225
0,5	2,77	1,60	0,710	0,400	0,261	0,184
0,75	1,46	1,02	0,520	0,315	0,211	0,153
1	0,89	0,693	0,400	0,256	1,077	0,130
1,5	0,415	0,365	0,255	0,179	0,133	0,100
2	0,233	0,223	0,173	0,131	0,100	0,079
3	0,107	0,104	0,091	0,077	0,064	0,053
4		0,0582	0,056	0,050	0,043	0,0376
5		0,0392	0,037	0,0342	0,031	0,0278
6			0,026	0,0248	0,023	0,0211
7,5			0,0169	0,0165	0,0156	0,0147
8			0,0151	0,0146	0,0139	0,0132
9			0,0120	0,0117	0,0113	0,0108
10			0,0098	0,0096	0,0093	0,0089
11					0,0078	0,0075
12					0,0066	0,0064
13					0,00565	0,0055
15					0,00428	0,0042
20					0,00244	0,0024

Tabelle III (Fortsetzung)

B: Auf der Normalen zur Scheibenebene am Rand.

Formel: $I = \frac{1}{R^2} \ln \left(\frac{a + \sqrt{a^2 + 4R^2}}{2a}\right)$

Abstand a von der Scheiben-ebene cm	Durchmesser der Scheibe 2 R cm					
	1	2	4	6	8	10
0,075	7,9	2,62	0,825	0,41	0,25	0,168
0,1	6,83	2,35	0,755	0,38	0,23	0,157
0,15	5,42	1,97	0,655	0,335	0,206	0,140
0,2	4,45	1,70	0,587	0,304	0,189	0,129
0,3	3,22	1,35	0,492	0,261	0,164	0,114
0,5	1,93	0,94	0,378	0,208	0,134	0,094
0,75	1,15	0,65	0,291	0,168	0,110	0,078
1	0,755	0,482	0,235	0,141	0,0945	0,0685
1,5	0,380	0,289	0,163	0,104	0,073	0,0540
2	0,233	0,189	0,121	0,081	0,059	0,0445
3	0,106	0,095	0,072	0,0535	0,0406	0,0322
4	0,060	0,058	0,047	0,0374	0,0300	0,0245
5	0,040	0,039	0,0328	0,0274	0,0230	0,0193
6		0,0266	0,0238	0,0209	0,0180	0,0154
7,5			0,0162	0,0145	0,0130	0,0116
10			0,0098	0,0090	0,0082	0,0075

Tabelle IV

Relative **Intenſitäten für quadratförmige Präparate** verſchiedener Seitenlänge nach Berechnungen Quimby's unter Berückſichtigung von Abſtand und Präparatgröße erhalten durch Summation der Intenſitäten der Einzelquellen, in die das Präparat zerlegt gedacht iſt.

Auf der Normalen zur Präparatebene im Zentrum.

Abstand a von der Präparatebene cm	Seitenlänge cm					
	1	2	4	6	8	10
0,25	6,06	2,61	0,96	0,53	0,4	0,244
0,50	2,65	1,52	0,652	0,36	0,24	0,185
0,75	1,45	0,97	0,484	0,29	0,194	0,139
1,0	0,875	0,662	0,379	0,236	0,163	0,122
1,5	0,420	0,362	0,242	0,168	0,121	0,0924
2	0,241	0,219	0,166	0,124	0,0948	0,0738
3	0,109	0,105	0,0906	0,0735	0,0605	0,0504
4		0,06	0,055	0,046	0,041	0,036
5		0,038	0,038	0,033	0,030	0,027
6			0,027	0,024	0,022	0,021
7,5			0,017	0,016	0,015	0,014
10				0,0092	0,0092	0,092

Tabelle IV (Fortsetzung)

Relative **Intensitäten für rechteckige Präparate** verschiedener Seitenlängen nach Berechnungen Quimby's.
Auf der Normalen zur Präparatebene im Zentrum.

Abstand a von der Präparat-ebene cm	Seitenlängen cm					
	1.1,5	2.3	4.6	6.9	8.12	10.15
0,25	4,78	1,95	0,705	0,352	0,208	0,15
0,50	2,27	1,19	0,488	0,268	0,172	0,121
0,75	1,30	0,795	0,378	0,217	0,142	0,103
1,0	0,82	0,568	0,298	0,180	0,122	0,0862
1,5	0,404	0,328	0,198	0,132	0,094	0,0668
2	0,238	0,205	0,142	0,100	0,0745	0,0552
3	0,108	0,101	0,081	0,063	0,0495	0,0401
4		0,06	0,05	0,044	0,0357	0,030
5		0,038	0,035	0,031	0,0265	0,023
6		0,027	0,026	0,023	0,0208	0,0183
7,5			0,017	0,016	0,0150	0,0138
10				0,0092	0,0092	0,0091

Tabelle V

Relative **Intenſitäten nadelförmiger Präparate** berechnet unter Berückſichtigung des Abſtandes, der Präparatlänge **und der Abſorption** im Filter und Gewebe. Ohne Luftdiſtanz.

Stärke der Präparate in allen Fällen gleich 1.

0,05 cm Pt-Filter. Abſorptionskoeffizient des Pt = 2.

Abſorptionskoeffizient des Gewebes = 0,09.

Die Zahlen bei 1 cm Abſtand ſind denen der Tabelle 1 gleich geſetzt.

A: Auf der Mittelpunktsnormalen

Formel: $I = \alpha \frac{1}{L\,a} (F(\varphi_2) \pm F(\varphi_1))$

$$F(\varphi) = \int_0^{\varphi} e^{-\frac{\Sigma \mu d}{\cos \varphi}} d\varphi$$

Abstand a cm von der Nadelachse	Punktquelle $I = \alpha \frac{1}{a_2} e^{-\Sigma \mu d}$	Länge des Präparats cm					
		0,5	1	1,5	2	3	5
0,075	193	71	39	27	20,3	13,8	8,0
0,1	108	49,2	28,1	19,4	14,8	10,2	6,4
0,15	48	31,4	18,8	13,2	10,2	7,0	4,1
0,2	26,8	18,7	12,4	9,0	7,0	4,9	3,0
0,3	11,8						
0,5	4,2	3,82	3,26	2,71	2,28	1,71	1,05
0,75							
1	1	0,96	0,92	0,86	0,78	0,65	0,48
2	0,225	0,221	0,221	0,219	0,212	0,20	0,16
5	0,028	0,0270	0,027	0,027	0,027	0,027	0,025
7,5	0,01						
10	0,0045						
15	0,00123						
20	0,00045						

Tabelle V (Fortsetzung)

B: Senkrecht zur Nadel an ihrem Ende

Abstand a cm	Länge des Präparats cm					
	0,5	1	1,5	2	3	5
0,075	38,4	20,2	13,7	10,5	7,05	4,4
0,1	27,6	14,8	10,2	7,7	5,23	3,3
0,15	18,6	10,2	7,0	5,3	3,60	2,26
0,2	12,2	6,9	4,9	3,8	2,59	1,62
0,5	3,2	2,25	1,69	1,35	0,94	0,60
1	0,92	0,785	0,65	0,555	0,417	0,274
2	0,225	0,223	0,198	0,181	0,154	0,112
5	0,030	0,030	0,030	0,0295	0,028	0,024

Tabelle VI

Prozentuale **Tiefenintenſitäten T punktförmiger Strahlungsquellen** der Stärke 1 bei verſchiedenen Luftdiſtanzen zwiſchen Quelle und Gewebeoberfläche berechnet unter Berückſichtigung des Abſtandes **und der Abſorption** im Filter und Gewebe.

Formel: $T_t = 100 \frac{I_t}{I_o}$

(I_o = Oberflächenintensität

(I_t = Intensität in der Tiefe t unter der Oberfläche.

A: Filter: 0,05 cm Pt. Abſorptionskoeffizient des Pt = 2. Abſorptionskoeffizient des Gewebes = 0,09.

Luftdistanz 1 cm		Luftdistanz 5 cm		Luftdistanz 10 cm	
Tiefe t	Prozentuale Tiefenintensität T	Tiefe t	Prozentuale Tiefenintensität T	Tiefe t	Prozentuale Tiefenintensität T
0	100	0	100	0	100
1	22,9	1	64	1	76
2	9,3	2	43	2	58
3	4,8	3	30	3	45,5
4	2,78	4	21,7	4	35,5
5	1,78	5	16,1	5	28,3
6,5	1				
9	0,445	9	5,7		
10	0,333	10	4,55	10	10,2

B: Filter: 0,2 cm Pb. Abſorptionskoeffizient des Pb = 1.
Abſorptionskoeffizient des Gewebes = 0,09.

Luftdistanz 10 cm		Luftdistanz 20 cm	
Tiefe t	Prozentuale Tiefenintensität T	Tiefe t	Prozentuale Tiefenintensität T
0	100	0	100
1	75	1	83
2	58	2	68,8
5	28,3	5	41
7	18,5	7	29,2
10	10,2	10	18,0
15	4 2	15	8,5
20	1,83	20	4,2

Tabelle VII (nach Reinhard und Goltz).

Relative Oberflächenintenſitäten für parallel zueinander angeordnete Tuben bei Wachsdiſtanz zwiſchen Präparat und Haut, bezogen auf die Oberflächenintenſität einer einzelnen Tube. Geſamtſtärke für jede Anordnung gleich 1. Tubenlänge 2,15 cm. Filter 1 mm Pt.

A: Abſtand der Tuben voneinander 1 cm

Ra-H. D. cm	Anzahl der Tuben						
	1	2	3	4	5	6	8
1	1,00	0,877	0,725	0,62	0,53	0,455	0,38
2	0,30	0,286	0,25	0,244	0,225	0,196	0,175
3	0,14	0,138	0,135	0,131	0,121	0,112	0,105

B: Abſtand der Tuben voneinander 2 cm

Ra-H. D. cm	Anzahl der Tuben						
	1	2	3	4	6	8	10
2	0,30	0,255	0,208	0,180	0,136	0,109	0,091
3	0,14	0,137	0,121	0,106	0,0833	0,0715	0,06
4	0,085	0,083	0,0755	0,069	0,0565	0,049	0,0425
5	0,0555	0,0555	0,0515	0,0485	0,0415	0,0365	0,032
6	0,04	0,0398	0,0378	0,036	0,0318	0,0286	0,0253

Tabelle VIII (nach Reinhard u. Goltz)

Tiefenintenſitäten

A: für 1 cm Zwiſchenraum aus Wachs zwiſchen Präparat und Haut und 1 cm Zwiſchenraum zwiſchen den Tuben.
Tubenlänge 2,15 cm. Filter 1 mm Pt.

Tubenzahl	1	2	3	4	5	6	7	8
Tiefe cm								
0	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
1	30	32,5	35,6	39,3	42,2	43,5	45,7	46,3
2	14	16,5	18,5	21	22,6	24,9	26	27,6
3	8,5	9,6	11	12,9	14,3	15,7	17,2	18,1
4	5,5	6,4	7,5	9	9,8	11	11,8	12,5
5	4	4,8	5,3	7	7,5	8,2	8,7	9,3

B: für Wachszwiſchenräume (Radium-Haut-Diſtanzen) von 2 bis 6 cm und 2 cm Zwiſchenraum zwiſchen den Tuben.

1 Tube

Ra-H. D. cm	2	3	4	5	6
Tiefe cm					
0	100%	100%	100%	100%	100%
1	46,6	60,8	65,2	72,5	75,0
2	28,3	39,7	47,5	54,2	61,2
3	18,5	28,7	35,4	44,4	50
4	13,4	21,5	29	36,3	42,5
5	10	17,6	23,7	30,8	33,6
6	8,2	14,4	20,2	24,3	29,8

2 Tuben

0	100%	100%	100%	100%	100%
1	53,7	61	66,8	72	74,5
2	32,6	40,8	48,4	53,6	59,9
3	21,8	29,3	35,9	43,1	48,4
4	15,7	21,8	28,8	34,9	39,5
5	11,7	17,6	23,3	28,4	32,5
6	9,4	14,2	19	23,4	29,9

Tabelle VIII (Fortsetzung)

B: für Wachszwischenräume (Radium-Haut-Distanzen von 2—6 cm und 2 cm Zwischenraum zwischen den Tuben.

4 Tuben

Ra-H. D. cm	2	3	4	5	6
Tiefe cm					
0	100%	100%	100%	100%	100%
1	59	65	70,3	74	76,5
2	38,4	45,8	52,2	56,7	61
3	27	33,9	39,8	45,2	50
4	20	25,9	31,8	37,2	41
5	15,3	20,7	26,1	30,4	38,5
6	12,2	17	21,4	25,6	30,5

6 Tuben

0	100%	100%	100%	100%	100%
1	61,7	67,6	73,4	76,6	77,5
2	41,7	49,6	56,4	59,6	62,5
3	30,6	38,1	43,7	48	51,9
4	23,5	29,5	35,3	39,8	43,4
5	18,2	23,8	29,2	33,3	36,6
6	14,7	19,8	24,4	28,1	31,9

8 Tuben

0	100%	100%	100%	100%	100%
1	65,1	69,2	74,4	77,6	78,2
2	45	51,5	58,2	61,2	63
3	33,5	40,3	45,5	49,2	52,3
4	26,2	31,5	36,7	40,9	44,3
5	20,5	25,7	30,5	34,6	38,5
6	16,5	21	25,8	30,2	34

Tabelle VIII (Fortsetzung)

B. für Wachszwischenräume (Radium-Haut-Distanzen) von 2—6 cm und 2 cm Zwischenraum zwischen den Tuben.

10 Tuben

Ra.-H. D. cm	2	3	4	5	6
Tiefe cm					
0	100%	100%	100%	100%	100%
1	66,3	70,2	75,4	79	81
2	46,7	58,1	59,6	63,9	66,6
3	35,2	41	48,4	52,6	55,8
4	27,8	33,9	39,6	44	48,2
5	22,5	27,8	33,2	38,1	41,4
6	19,5	23,4	28,7	32,7	36,5

14 Tuben

0	100%	100%	100%	100%	100%
1	68,2	71,8	76,4	80,3	82
2	49	54,8	61,2	65,8	68,7
3	37,4	44	50,2	55,1	58,4
4	30	36,1	42	46	50
5	24,6	30,2	35,7	40,1	43,3
6	20,6	25,6	30,6	34,8	38

Tabelle IX

Experimentell beſtimmte Intenſitätswerte verglichen wir nach Tabelle I berechneten Werten für verſchiedene Präparate in Richtung ihrer Mittelpunktsnormalen.

A: Meſſungen in **Luft.**

Größe des Präparats: 1 cm Länge
Filterstärke: 2 mm Messing
Autor: Glasser und Seitz
Art der Messung: Messung in r/mgeh mit Kondensatordosimeter; Reis als Rückstreuungsphantom.

Entfernung cm	r/mgeh	Berechnete Werte bei 1 cm Entf. dem exp. Wert gleichges.
1	6,91	6,91
2	1,85	1,8
3	0,88	0,83

Tabelle IX (Fortsetzung)

A: Messungen in Luft.

1,2 cm Länge 0,5 mm Pt Glasser und Mautz
In r/mgeh mit Kondensatordosimeter. Ohne Rückstreuung.

Entfernung cm	Zylinder-Kammer $^1/_{35}$ cm³	Kugel-Kammer 0,5 cm³	Kugel-Kammer 2 cm³	Berechnete Werte bei 1 cm Entfernung dem exp. Wert gleichgesetzt
		r/mgeh		
0,4	31,3			
0,5	22,2			24,6
0,6	16,9	14,3		
0,8	11,0	9,3		
1	7,6	6,6		7,6
1,2		4,8	5,7	
1,4	3,9	3,6	4,1	
1,6			3,2	
2		2,1	1,9	2,03
3		0,92	0,91	0,93
5			0,32	0,34
10			0,08	0,085

Tabelle IX (Fortsetzung)

A: Messungen in Luft.

1,5 cm Länge Durchmesser: a 0,5 cm b) 0,25 cm			1,5 cm Länge		
a) 2 mm Messing b) 0,5 mm Pt			0,5 mm Pt		
Glasser, Portmann, Seitz			Mayneord		
In r/mgeh mit Kondensatordosimeter; Reis als Rückstreuungsphantom.			In r/mgeh mit Kammer aus Carbon und Celluloid. (Ablesung von Isodosenkurven).		
Entfernung cm	r/mgeh	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt	Entfernung cm	r/mgeh	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt
a) 1	7,2	7,2	0,3	40	53
1,5	3,3	3,4	0,5	22	26
2	1,9	2	0,75	13	14
3	0,92	0,9	1	8,6	8,6
4	0,52	0,5	1,5	4,2	4,1
			2	2,2	2,4
b) 1	6,1	6,1	3	1	1,07
2	1,8	1,7			
3	0,9	0,76			

A: Messungen in Luft.

2 28 cm Länge Durchmesser: 0,46 cm
1,5 mm Messing + 5 mm Celluloid
Friedrich und Glasser

Entfernung cm	Rel. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt
1	100	100
2	25	30,6
3	11,2	14
4	6	7,9
5	4	5,1
6	2,6	2,95
8	1,4	2,05
10	1	1,35

Tabelle IX (Fortsetzung)

A: Messungen in L u f t.

Quadrad 4 . 4 cm 2 mm Messing
Mit Kondensatordosimeter
Reis als Rückstreuungsphantom

Glasser, Portmann, Seitz			Glasser und Seitz	
Entfernung cm	r/mgeh	Ber. Werte bei 3 cm dem exp. gleichges.	r/megh	Ber. Werte bei 3 cm dem exp. gleichges.
2	1,61	1,49		
3	0,81	0,81	0,77	0,77
4	0,47	0,49	0,45	0,465
5	0,33	0,34		
6	0,23	0,24	0,23	0,23
7,5	0,15	0,152		
10	0,09	0,09	0,096	0,085

A: Messungen in L u f t.

Kreisfläche 7,5 cm Durchm. 2 mm Pb
Failla
mgeh, die zum Hervorrufen des Schwellenerythems nötig sind

Entfernung cm	m geh	Ber. Werte bei 10 cm dem exp. gleichges.
6	12000	9700
8	17000	16000
10	24000	24000
12	37000	34000
15	47000	52000
20	78000	91000

A: Messungen in Luft.

Rechteck: 8 . 12 cm, 4 . 6 cm, 4 . 5 cm
Tube: 1,4 cm Länge 2 mm Messing
Quimby
Klinische Bestimmung der mchr, die ein durchschnittliches Erythem erzeugen

Präparatgrösse cm	Entfernung cm	mchr	Berechnete Werte bei 10 cm Entfernung dem experiment. Wert gleichgesetzt
8 . 12	6	9000	8900
8 . 12	10	20000	20000
4 . 6	4	3200	3700
4 . 5	3	2000	2150
1,4	2	830	770

B: Messungen im Phantom.

0,3 cm Länge (Seed) 0,75 mm Durchm. 0,3 mm Au

Quimby und Martin			Reinhard und Goltz	
Durchschnittswerte von Messungen an Nekrose, Butterbleichung und Erythem b) Ablesungen aus Kurve			Durch Extrapolation von Kurven, die eine Beziehung zwischen Präparatlänge und Intensitäten geben	
Entfernung cm	Intensität in % der bei 1 cm		Intensität in % der bei 1 cm	Berechn. Werte bei 1 cm Entf. dem exp. Wert gleichgesetzt
0,25	a) 1235	b)		
0,3	900			
0,35	685			
0,4	526			
0,5	342	450		385
0.6	305	300		
0,75		190		175
0,8	147			
1,0	100	100	100	100
1,5	47,5	40		45
2	31,6	22,5	23,5	25,8
2,5	24,2			
3	16,8	8	9,2	11,5
3,5	13,1			
4	10,5		5,5	6,45
5			3	
6			2	

Tabelle IX (Fortsetzung)

B:

1,5 cm Länge			1,55 ccm Länge		
0,3 mm Platin-Iridium			1 mm Pt		
Goldhaber und Griffith			Reinhard und Goltz		
Mit Graphitkammer vom Volumen 3,1 mm³ im Wasserphantom (Ablesung von Isodosenkurven)			Mit Kammer aus graphitiertem Bakelit (Volumen ca. 300 mm³) im Wachsphantom		
Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt	Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt
0,3	180	135	1	100	100
0,4	120		2	27,8	27,9
0,5	90	66,5	3	12,4	12,4
0,75	39	36	4	7,4	7
1	22	22	5	4,6	4,6
1,5	8	10,5	6	3,2	3,2

B:

2 cm Länge			2,15 ccm Länge		
0,5 mm Pt			1 mm Pt		
Quimby			Reinhard und Goltz		
Durchschnittsresultate verschiedener Experimente in Butter bzw. Wasserphantom			Mit Kammer aus graphitiertem Bakelit (Volumen ca. 300 mm³) im Wachsphantom		
Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt	Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt
0,5	275	235	1	100	100
0,75	135	130	2	30	30
1	82	82	3	14	13,8
1,25	55		4	8,5	7,9
1,5	40	41	5	5,5	5
1,75	31		6	4	3,5
2	25	24			
2,5	17				
3	13	11			
4	8	6,3			

Tabelle IX (Fortsetzung)

B:

2,28 cm Länge			2,5 cm Länge		
1,5 mm Messing			1,5 mm Messing		
Friedrich und Glasser			Huth		
Ionisationsmessung im Wa serphantom			Ionisationsmessung im Wasserphantom		
Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt	Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt
1	100	100	1	100	100
2	23,2	30,6	2	26,3	31
3	10,4	14	3	12	14,5
4	5,4	8	4	6,1	8
5	3,3	5,1	6	2,7	3,6
6	2,2	3	8	1,6	2,1
8	1,2	2,05	10	0,9	1,25
10	0,7	1,35			

B.

1 mm Pt — Reinhard und Goltz

Mit Kammer aus graphitiertem Bakelit (Volumen ca. 300 mm^3). — Im Wachsphantom.

Länge	3,1 cm	4,3 cm	4,65 cm
Entfernung cm	Relative Intensität		
1	100	100	100
2	32,5	36,8	38,3
3	16,5	19,3	20,4
4	9,6	11,6	12,4
5	6,4	8	8,6
6	4,8	5,8	6,5

Tabelle IX (Fortsetzung)

B:

5 cm Länge			7,75 cm Länge		
1,5 mm Messing			1 mm Pt		
Huth			Reinhard und Goltz		
Ionisationsmessung Im Wasserphantom			Mit Kammer aus graphit. Bakelit Im Wachsphantom		
Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt	Entfernung cm	Relat. Intensität	Ber. Werte bei 1 cm dem exp. gleichgesetzt
1	100	100	1	100	100
2	34,1	37,8	2	44,6	41
3	23,5	19,5	3	25,5	23
4	13,9	11,8	4	16,4	14,7
6	6,8	5,5	5	11,4	10
8	3,7	3	6	8,4	7,3
10	2	2			

Tabelle X

Experimentell beſtimmte **Tiefenintenſitäten** in Prozent der Oberflächenintenſität verglichen mit nach Tabelle I—IV erhaltenen Tiefenintenſitäten für verſchiedene Präparate in Richtung ihrer Mittelpunktsnormalen.

Größe d. Präparats	Seed, ca. 0,3 cm Länge		Tube, 1,4 cm Länge 0,5 mm Durchm.		
Filterstärke	0,3 cm Pb		2 mm Messing		
Autor	Rees und Clark		Failla		
Art der Messung	Messung in Al-Kammer im Wasserphantom				
Luftdistanz	10 cm		2 cm		
Tiefe cm	Tiefenintensität Exp.	Ber.	Tiefe cm	Tiefenintensität Exp.	Ber.
0	100	100	0	100	100
1	83	82,5	1	42	44,5
2	72	70	2	21,7	25,
3	62	59,2	3	12,9	16,5
5	48	44,5			
10	27	25			
15	16	14,5			

Tabelle X (Fortsetzung)

4 . 5 cm (Tray)		4 . 6 cm (Block)	
2 mm Messing		2 mm Messing	
Martin, Quimby, Pack		Failla	
Ionisationsmessung im Wasserphantom (Experimentelle Werte z. T. von Kurve abgelesen; berechnete Werte durch Interpolation)			
3 cm Luftdistanz		4 cm Luftdistanz	
Tiefe cm	Tiefenintensität	Tiefe cm	Tiefenintensität
	Exp. Ber.		Exp. Ber.
0 100 100		0 100 100	
1 62 61		1 63,5 70	
2 40 42		2 42,6 52	
3 27 31		3 30 30	
4 19			
5 14			
6 10			
7 8 11,4			
10 4 6,9			

5,5 . 6 cm Mayneord 1 mm Pt

Messung mit Kondensatordosimeter in Wachs
(Experimentelle Werte sind von Kurve abgelesen)

Luftdistanz:	5 cm		10 cm		15 cm		75 cm	
Tiefe cm	Tiefenintensität							
	Exp.	Ber.	Exp.	Ber.	Exp.	Ber.	Exp.	Ber.
0	100	100	100	100	100	100	100	100
5	31	28	45	48	60	57	83	82
10	11	13	21	27	27	36,5	64	77

Tabelle X (Fortsetzung)

8 . 12 cm (Pack)			12 . 12 cm						
2 mm Messing			2 mm Pt						
Martin und Quimby			Coliez und Mallet						
Ionisationsmessung im Wasserphantom (Experimentelle Werte sind von Kurve abgelesen)			Ionisationsmessung im Wasserphantom						
Luftdistanz: 6 cm				Luftdistanz					
				12 cm		20 cm		30 cm	
Tiefe cm	Tiefenintens.		Tiefe cm	Tiefenintensität					
	Exp.	Ber.		Exp.	Ber.	Exp.	Ber.	Exp.	Ber.
0	100	100	0	100	100	100	100	100	100
1,5	65	72	10	27,5	30	40	45	49	56
4	42	45							
5	36	37							
10	16	18							
15	9	10,5							

7,5 cm Durchmesser (Pack) — 2 mm Pb äquivalent

Failla

Messung mit Celluloid-Kammer im Wasserphantom

Tiefe cm	Luftdistanz							
	6 cm		8 cm		10 cm		12 cm	
	Tiefenintensität							
	Exp.	Ber.	Exp.	Ber.	Exp.	Ber	Exp.	Ber
0	100	100	100	100	100	100	100	100
2	64,8	60,5	67,7	66,5	71	71	73,7	74,5
5	36,8	33,7	40,5	40,5	45,1	46,3	49	52,5
7	26,5	24,5	29,8	30,8	34,1	37,4	37,8	42,2
10	16,3	17	19,7	22,2	13,3	26,4	26,3	31,4
15	8,4	9,9	10,8	13,6	23,5	17,3	15,9	20,9
20	5,3	6,4	6,8	9,2	8,7	12	10,3	14,8

Tabelle X (Fortsetzung)

7,5 cm Durchmesser (Pack) 2 mm Pb äquivalent

Failla

Messung mit Celluloid-Kammer im Wasserphantom

Tiefe cm	Luftdistanz 15 cm		Luftdistanz 20 cm	
	Tiefenintensität			
	Exp.	Ber.	Exp.	Ber.
0	100	100	100	100
2	78,5	83	83,5	82,8
5	54,8	59,5	63,3	64
7	43,2	49,3	52,3	55
10	30,4	38	39,2	44,3
15	18,7	26,5	26,5	32,6
20	13,4	19,4	20,7	25

4 Tuben, je 2,15 cm Länge parallel zu einander im Abstande 2 cm 1 mm Pt

Reinhard und Goltz

Distanz: 2 cm Wachs

Tiefe cm	Tiefenintensität	
	Exp.	Ber. nach Tab. VIII
0	100	100
1	60,0	59,0
2	39,0	38,4
3	27,8	27,0

Formeln zur Berechnung der Intenſitätsverteilung verſchiedener Strahlenquellen.

Vorausgeſetzt iſt gleichmäßige Verteilung der radioaktiven Subſtanz und Intenſitätsabnahme mit dem Quadrat der Entfernung bei Punktquellen.

A: **Ohne Berückſichtigung der Abſorption.**

1. Punktquelle:

$$I = \frac{P}{r^2}$$

(P = Stärke des Präparats
(r = Entfernung in cm)

2. Gerade Linienquelle:

$$I = \frac{P}{L\,a}\left(\operatorname{arc\,tg}\ \frac{b + \frac{L}{2}}{a} + \operatorname{arc\,tg}\ \frac{b - \frac{L}{2}}{b}\right.$$

(L = Länge der Geraden
(a = senkrechter Abstand von der Geraden
(b = senkrechter Abstand von der Mittelpunktsnormalen

Für $b = O$:

$$I = \frac{2\,P}{L\,a}\ \operatorname{arc\,tg}\ \frac{L}{2\,a}$$

Für ſehr kleine a wird

$$I = \frac{2\,P}{L\,a}\quad \frac{\pi}{2} = \frac{P\,\pi}{L\,a}$$

Alſo für Entfernungen, die im Verhältnis zur Präparatlänge ſehr klein ſind, ändert ſich die Intenſität einfach umgekehrt mit der Entfernung, während bei großen Entfernungen die Strahlungsquelle mehr und mehr als Punktquelle angeſehen werden kann, alſo die Änderung der Intenſität nach Vorausſetzung umgekehrt quadratiſch verläuft.

Für $b = L/2$:

$$I = \frac{P}{L\,a}\ \operatorname{arc\,tg}\ \frac{L}{a}$$

Für $a = O$:

$$I = \frac{P}{(b + \frac{L}{2})\,(b - \frac{L}{2})}$$

3. Kreisperipherie:

$$I = \frac{P}{\sqrt{(R^2 + a^2 + b^2)^2 - 4b^2R^2}}$$

(R = Radius des Kreises
(a = senkrechter Abstand von der Kreisebene
(b = senkrechter Abst nd von der Mittelpunktsnormalen

Für $b = O$:

$$I = \frac{P}{R^2 + a^2}$$

Für $b = R$:

$$I = \frac{P}{\sqrt{a^4 + 4a^2R^2}}$$

Für $a = O$:

$$I = \frac{P}{(b^2 - R^2}$$

4. Kreisfcheibenquelle:

$$I = \frac{P}{R^2} \ln \frac{R_2 + a^2 - b^2 + \sqrt{(R^2 + a^2 - b^2)^2 + 4a^2b^2}}{2a^2}$$

Für $b = O$:

$$I = \frac{P}{R^2} \ln \frac{R^2 + a^2}{a^2}$$

(ln = natürlicher Logarithmus.

Für $b = R$:

$$I = \frac{P}{R^2} \ln \frac{a + \sqrt{a^2 + 4R^2}}{2a}$$

Für $a = O$:

$$I = \frac{P}{R^2} \ln \frac{b^2}{b^2 - R^2}$$

5. Sphärifche Schalenquelle:

$$I = \frac{P}{a^2} \ln \frac{R + a}{\pm (R - a)}$$

(R = Radius der sphär. Schale
(a = Entfernung vom Zentrum der sphärischen Schale

B: Mit Berückfichtigung der Abforption:

Vorausgefetzt wird ein exponentielles Abforptionsgefetz und angenommen nur eine Strahlungskomponente und ein durchfchnittlicher Abforptionskoeffizient; unberückfichtigt bleiben alfo die verfchiedenen Strahlungskomponenten, wodurch aber bei normaler Filterung die relativen Intenfitätswerte wenig beeinflußt werden.

1. Punktquelle:

$$I = \frac{P}{r^2} \, e^{-\Sigma \mu d}$$

(μ = Absorptionskoeffizient
(d = Absorbierende Schichtdicke.

2. Gerade Linienquelle:

$$I = \frac{P}{L\,a} \int_{w_1}^{w_2} e^{-\frac{\Sigma \mu \, d}{\cos w}} \, dw$$

$$= \frac{P}{L\,a} \left(F(w_2) \mp F(w_1)\right)$$

$$(F(w) = \int_0^w e^{-\frac{\Sigma \mu \, d}{\cos w}} \, dw$$

3. Kreisperipheriequelle:

Für $b = 0$:

$$I = \frac{P}{R^2 + a^2} \, e^{-\Sigma \mu \, d} \, \frac{\sqrt{a^2 + b^2}}{a}$$

4. Kreisfcheibenquelle:

$$I = P\left(\frac{1}{R^2}\ln\frac{R^2+a^2-b^2+\sqrt{(R^2+a^2-b^2)^2+4a^2b^2}}{2a^2}\right.$$

$$\left.-2\frac{\Sigma\mu\, d}{a}\frac{\sqrt{R_2+a^2+b^2}-\sqrt{a^2+b^2}}{R^2}+\frac{1}{2}\left(\frac{\Sigma\mu\, d}{a^2}\right)^2\right)$$

Für $b = O$:

$$I = \frac{2P}{R^2}\left(E_i\left(-\frac{\Sigma\mu\, d}{a}\sqrt{a^2+R^2}\right)-E_i\left(-\Sigma\mu\, d\right)\right)$$

$$\left(-E_i(-x)=\int_x^\infty\frac{e^{-x}}{x}\,dx\right.$$

Literaturverzeichnis.

Albrecht, Strahlentherapie XLII. 1931. S. 328. XLV. 1932. S. 365. Über die Abſolutbeſtimmung der r-Einheit im Radiumgebiet.

Asti, Radiologia medica XVII. 1930. S. 1065 Osservazioni sulle misure in radiumterapia die superficie. A proposito della unità Dominici.

Bagg u. Halter, Americ. Journ. of Roentg. and Radiumtherapy. 1932. I. Seite 1. Relation of intensity of radium-radiation

Behnken, Strahlentherapie. 1934.

Benner, Acta radiologica XII. 1931. S. 401. On secondary beta-rays from the surface of radiumcontainers.

— Acta radiologica XIV. 1933. S. 207. Intensity distribution and dosage in teleradium treatment at radiumhemmet.

— Acta radiologica XV. 1934. S. 291. The intensity distribution around radium preparations.

Blau, Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiſſ. Wien. CXXVII. 1928. S. 1253. Über die Absorption divergenter Gammaſtrahlen.

Braun, Strahlentherapie. XXXVIII. 1930. S. 11. Vergleich der biologiſchen Wirkung von Roentgen- und Gammaſtrahlen.

Bruzau, Arch. de l'Institut du radium. I. 1929. Seite 4. Sur la distribution spatiale du rayonnement gamma dans les milieux dispersifs légères.

Coliez, Journ. rad. et d'électrol. méd. 1926. Seite 547. Sur une méthode de notation curiethérapique basée sur l'évaluation du débit journalier des tubes et des appareils, et permettant la comparaison des doses données dans toutes les appl. curiethérapiques.

— Acta radiologica XI. 1930. Seite 505. Dosimétrie curiethérapique.

— Arch. d'electricité médicale. XV. 1931. Seite 397. La mésure des appareils de radium en pratique courante.

— Fortſchr. Roentg. XLIV. 1931. S. 87. Die Dosimetrie in der Radium-Behandlung.

Coliez u. Mallet, Strahlentherapie. XXII. 1926. S. 417. Unterſuchungen über die Verteilung der ſtrahlenden Energie bei der Radium-Therapie. Direkte Meſſung der Gamma-Strahlung.

Cutler Americ. Journ. of Roentg. and Radiumtherapy. XVI. 1926. Seite 535. Comparison of the effects of unfiltered and filtered radon tubes buried in rabbit muscle.

Dautwitz, Strahlentherapie. XXVI. 1927. S. 45. Die äußere Beſtrahlung mit radioaktiven Subſtanzen.

Dean, Americ. Journ. of Roentg. and Radiumtherapy. X. 1923. Seite 654. Results of skin tests made to determine an objective dose for radium radiation.

Delbert, Bull. Ass. fr. pour l'Etude du cancer. IX. 1920. S. 187. Mode de notation en radiumthérapie.

Dessauer, Strahlentherapie. IV. 1914. S. 452. Die phyſikaliſchen und techniſchen Grundlagen bei der Radium- und Roentgen-Beſtrahlung.

Dumont, Strahlentherapie. LII. 1935. S. 152. Beitrag zur Dosimetrie der Radiumſtrahlen.

Failla, Americ. Journ. of Roentg. and Radiumtherapy. VIII. 1922. S. 215. The absorption of radium radiations by tissues.

— Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. VIII. 1922. S. 674. Dosage in radium therapy.

— Acta radiologica. VI. 1926. Seite 413. The question of a biologica unit of radiation.

— Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. XVI. 1926. S. 507. The development of filtered radon implants.

— Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. XX. 1928. Seite 128. The design of a well-protected radium-pack.

— Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. 1933. I. S. 293. The relative effects of 200 kV-, 700 kV roentgenrays and gamma-rays.

Failla, Quimby, Dean, Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. IX. 1922. S. 479. Some problems of radiation therapy.

Failla, Adair, Quimby uſw., Americ. J. of Roentg. of Radiumtherapy. XV. 1926. Seite 1. Dosage study relative to the therapeutic use of unfiltered radon.

Failla u. Henshaw, Radiology. XVII. 1931. Seite 1. The relative biological effectiveness of roentgenrays and gammarays.

Ferroux u. Bruzau, Journ. rad. et d'électrol. méd. XI. 1927. S. 156. Principes et dispositifs de la curiethérapie à distance.

— — Cancer. IV. 1927. S. 146. Physique de la roentgenthérapie et de la curiethérapie.

Flint u. Grimmett, Acta radiologica. XIV. 1933. S. 104. A critical note regarding units of measurement of roentgenrays and gamma-radiation.

Friedrich, Strahlentherapie. XXVI. 1927. S. 4. Phyſikaliſche Grundlagen der Radiumtherapie.

— Strahlentherapie. LI. 1934. Seite 7. Beiträge zum Problem der Radium-Dosimetrie.

Friedrich u. Glasser, Strahlentherapie. XI. 1920. S. 20. Über die Dosenverhältnisse bei inkorporaler Radium- und Mesothoriumtherapie.

— — Zeitschr. f. Physik. XI. 1922. S. 93. Intensitätsverteilung der Gammastrahlen radioaktiver Substanzen im absorbierenden Medium.

Glasser, Strahlentherapie XII. 1921. S. 256. Über die Bedeutung der Filterung auf die Dosenverhältnisse bei inkorporaler Radium- und Mesothoriumbehandlung.

— Acta radiologica. I. 1921. S. 475. Zur Frage der Intensitätsverteilung der Gammastrahlen radioaktiver Substanzen innerhalb eines absorbierenden Mediums.

— Strahlentherapie. LII. 1935. S. 137. Die kleine Ionisationskammer.

Glasser u. Mautz, Strahlentherapie. XXXIV. 1929. S. 845. Die Bedeutung der r-Einheit für die Messung der Dosis von Gammastrahlen des Radiums.

— — Radiology. XV. 1930. S. 93. The measurement of the intensity of the gamma-rays of radium in r-units.

— — Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. 1933. I. Seite 815. Der Effekt von Roentgen- u. Gammastrahlen auf die Eier von Drosophila melanogaster.

Glasser. Portmann u. Seitz, Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. XX. 1928. Seite 505. Condenser dosimeter and its use in measuring radiation.

Glasser u. Seitz, Strahlentherapie. XXIX. 1928. S. 549. Das Kondensatordosimeter.

Goldhaber u. Griffith, The British Journ. of Radiology. 1933. S. 656. A valve amplifier for the detailed study of radium isodose curves.

Grebe, Fortschr. Roentg. XXVII. 1919. S. 662. Über Absorption und Streuung der Gammastrahlen des Radiums.

— Strahlentherapie L. 1934. S. 484. Zur Definition der absoluten Einheit der Roentgenstrahlendosis.

Griffith, Acta radiologica. XIV. 1933. S. 608. A test of some methods for calculation dosage in radium-therapy.

Griffith u. Zimmer, Strahlentherapie. LII. 1935. S. 671. Die Dosenverteilung beim kreistörmigen Oberflächen-Applikator.

Guében, Acta radiologica. XI. 1930 S. 237. Rayonnement autour des tubes de radium.

Gunsett u. Spack, J. Belge de Radiol. 1928. La Dosimétrie ionometrique au Centre anticandéreux de Strasbourg.

Hauschting, Archiv f. Gynäk. CXIII. 1920. S. 1. Erythemdosis und Carcinomdosis der Radiumstrahlen.

Hess, Physikalische Z. XII. 1911. S. 998. Über die Absorption der Gammastrahlen von Ra-C in der Atmosphäre.

den Hoed u. Stoel, Acta radiologica. X. 1929. S. 442. Intensity measurements of radium-rays.

Holthusen, Strahlentherapie. XLVI. 1933. S. 273. Vergleichende Unterſuchungen über die Wirkung von Röntgen- und Radiumſtrahlen.

Holthuſen u. Hamann, Strahlentherapie. XLIII. 1932. S. 667. Radiumdosimetrie auf photometriſchem Wege.

Huth, Strahlentherapie. XIX. 1925. S. 358. Iſodoſen von verſchiedenen Radium- und Meſothoriumpräparaten.

Jaeger, Phyſikaliſche Z. XXXV. 1934. S. 273. Die phyſikaliſche Beziehung zwiſchen dem „Roentgen" (r) und der ſogenannten Radiumdoſiseinheit mgeh/cm.

Jakobson, Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. XXVIII. 1932. S. 668. Measurement of the radiation field about sources of radium in r and photographically.

Jona, Strahlentherapie. XXXII. 1929. S. 775. Vergleich der Radium- und Roentgendosis mit einem Roentgendosimeter.

Juul, Srahlentherapie. XXXVIII. 1930. S. 623. Einmalige Höchſtdoſis, fraktionierte Beſtrahlung oder Sättigungsmethode?

Jüngling u. Beigel, Strahlentherapie, XIV. 1923. S. 423. Über die Verwendbarkeit der Wurzelreaktion von Vicia faba equina zur Ausdoſierung eines Radiumpräparats.

Jüngling u. Langendorf, Strahlentherapie. XLVIII. 1933. S. 174. Biologiſche Ausdoſierung von Radiumpräparaten.

Kehrer, Archiv f. Gynäk. CVIII. 1918. S. 504. Die wiſſenſchaftlichen Grundlagen und Richtlinien der Radiumbehandlung des Uteruscarcinoms.

Keller. Strahlentherapie LII. 1935. S. 403. Über die Meſſung von Radium-Iſodoſen in r und ihre Berichtigung durch neue experimentelle Unterſuchungen.

Kohlrauſch, K. W. F., Handbuch der Exp. Phyſik. XV. Radioaktivität.

— Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiſſ. Wien. CXXVI. 1917. S. 441, 683, 883. Die Abſorption der Gammaſtrahlen von Radium.

— Sitzungsberichte d. Akad. d. Wiſſ. Wien. CXXVIII. 1919. S. 853. Über die harte Sekundärſtrahlung der Gammaſtrahlung von Radium.

Krönig u. Friedrich, 1918. Strahlentherapie.

Laborde, Bull. Ass. fr. pour l'Etude du cancer. X. 1931. S. 48 u. 187. Sur la notation en curiethérapie.

Lahm, Fortſchr. Roentg. XXVII. 1920. S. 442. Vorſchläge zur Vereinheitlichung der Dosenangabe in der Radiumtherapie.

— Strahlentherapie. XXVI. 1927. S. 773. Doſisangaben der Radiumbehandlung.

Mallet, Bull. et Mem. Soc. Rad. Méd. de France. XI. 1923. S. 273. Détermination directe du rayonnement gamma à l'aide d'un ionomicromètre.

— Arch. de Rad. et d'Electr. XI. 1927. S. 146. Les applications de l'ionomicrométrie à la pratique de la curiethérapie transcutanée.

— J. Belge de Radiol. XXI. 1932. S. 241. Mesures locales du rayonnement des foyers de microchambres d'ionisation indépendantes.

Mallet u. Danne, Journ. de Rad. VIII. 1924. S. 248. Etude du rayonnement à l'aide d'un microionomètre.

Martin, Radiology. XIII. 1929. S. 338. Factors in dosage determination in interstitial radiation.

Martius, Zentralbl. f. Gynäkologie. XLV. 1921. S. 296. Über Radiumdoſierung.

Matzdorff, Fortſchr. Roentg. XXVII. 1920. S. 297 u. 556. Vorſchläge zur Vereinheitlichung der Dosenangabe in der Radiumtherapie.

Mayneord, The British Journ. of Radiology. IV. 1931. S. 693. The measurement in r-units of the gamma-rays from radium.

— The British Journ. of Radiology. 1932. S. 677. The distribution of radiation around simple radioactive sources.

— The British Journ. of Radiology. 1933. S. 598. Notes on three problems of gamma ray therapy.

— Acta radiologica. XIV. 1933. S. 95. The plane surface applicator.

Mayneord u. Roberts, The British Journ. of Radiology. 1934. S. 158. The ionisation produced in air by roentgen-rays and gamma-rays.

Mazères, Journ. rad. et d'électrol. X. 1926. S. 158. Sur le rayonnement primaire gamma autour d'une source linéaire de Radium.

Murdoch, The British Journ. of Radiology. 1931. S. 256. Dosage in radium therapy.

Murdoch, Fortſchritte auf d. Gebiete d. Röntgenſtrahlen L. 1934. S. 397. (Bericht vom 4. Internationalen Radiologen-Kongreß Zürich 1934.)

Murdoch, Simon u. Stahel, Acta radiologica XI. 1930. S. 350. La dosimétrie en curiethérapie.

Murdoch u. Stahel, Strahlentherapie. XXVII. 1928. S. 561. Vergleichende Studie von 2 dosimetriſchen Roentgen-Einheiten — das franzöſiſche R (Solomon) und das deutſche R (Behnken).

Neef, Strahlentherapie, XXXIII. 1929. S. 253. Über die Dosierung bei Radium- und bei Radium-Roentgenbeſtrahlung.

— Strahlentherapie. XLIV. 1932. S. 257. Zur Technik der Radium-Applikation.

— Med. Klinik. VII. 1934. S. 226. Die Vereinheitlichung der Dosierung bei der kombinierten Roentgen-Radiumbeſtrahlung.

Neef, Strahlentherapie LII. 1935. S. 652. Fortſchritte in der Vereinheitlichung der praktiſchen Dosierung bei der Roentgen-Radium-Beſtrahlung.

Owen, Fleming u. Fage, Proceedings of the physical society of London.. XXXVI. 1923/24. S. 355. Absorption and scattering of gamma-rays.

Palmieri, Strahlentherapie. XL. 1931. S. 470. Theoretiſche Grundlagen eines neuen Verfahrens der Homogen-Beſtrahlung mit Gamma-Strahlen.

Picchio, Radiologia medica XIX. 1932. S. 933. Dosimetria curieterapica.

Proust u. Mallet, Bull. et Mem. Soc. Rad. Méd. de France. CVII. 1924. S. 74. De la dosimétrie en curiethérapie.

Quimby, Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. IX. 1922. S. 671. The effect of the size of radium applicators on skin doses.

— Americ. J. of .... X. 1923. S. 574. A simple nomogram for the determination of radium skin doses.

— Americ. J. of .... XIII. 1925. S. 330. Comparison of different metallic filters used in therapy.

— Radiology. X. 1928. S. 365. The intensity of radiation in the vicinity of filtered radon implants.

— Americ. J. of .... XXIII. 1930. S. 49. A comparison of radium and radon needles and permanent radon implants.

— Americ. J. of .... XXVII. 1932. S. 18. The grouping of radium tubes in packs or plaques to produce the desired distribution of radiation.

— Americ. J. of .... XXXI. 1934. S. 74. Dosenbeſtimmung für lange Radium- oder Radon-Nadeln.

Quimby u. Martin, Americ. J. of .... XXI. 1929. S. 240. A basis for dosage determination in interstitial irradation.

— — Americ. J. of .... XXIII. 1930. S. 173. Calculations of tissue dosage in radiation therapy.

— — Strahlentherapie. XLIII. 1932. S. 631. Gewebsdosen in der Strahlentherapie.

Quimby, Martin u. Pack, Americ. J. of .... XXV. 1931. S. 490. Calculations of tissue dosage in radiation therapy.

Quimby u. Pack, Radiology. XIII. 1929. S. 306. The skin erythema for combinations of gamma- and roentgen-rays.

— — Americ. J. of .... XXVIII. 1932. S. 650. The time — intensity factor in irradiation.

Quimby u. Stewart, Radiology. XVII. 1931. S. 449. Comparison of various sources of interstitial radiation.

Rees u. Clark, The British Journ. of Radiology. 1933. S. 588. The evaluation of depth doses of gamma- and roentgen-rays

Regaud, Bull. Ass. fr. pour l'Etude du cancer. IX. 1920. S. 280. Mode de notation en radiumthérapie.

Reinhard, Am. J. of Cancer. XVII. 1933. S. 136.

Reinhard u. Goltz, Radiology. XVII. 1931. S. 752. A simple method for calculating doses with multiple points of gamma radiation.

— — Americ. Journ. of Cancer. XVII. 1933. S. 757. Calculation of dosage from intracavitary radiation.

— — Americ. Journ. of Cancer. XVII. 1933. S. 770. Calculation of dosage from radon seeds.

Reinhard u. Goodale, Americ. Journ. of Roentg. and Radiumthérapy. XXX. 1933. S. 265. Nomogram as an aid in the determination of the cumulative dose in roentgen- and radium-therapy.

Reisner, Strahlentherapie. XXXVIII. 1930. S. 19. Biologiſche Verſuche über die Wirkung der verſchiedenen Strahlenmengen beſtimmter Radium-Präparate auf die Haut.

Report of the standardization comittee of the american radium society, Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. XX. 1928. S. 258.

Rogers, The British Journ. of Radiology. 1934. S. 176. The absorption of gamma rays by radium sulphate plaster, water and beef.

Schmitz, Americ. J. of Roentg. and Radiumtherapy. VIII. 1921. S. 285. The relation of the science of physics to radiation therapy

Seitz u. Wintz, Zentralbl. f. Gyn. XLIV. 1920. S. 97 u. 529. Die Carcinomdosis bei Roentgen- und Radiumbeſtrahlung. Die kombinierte Roentgen-Radiumbehandlung im Rahmen der biolog. Dosierung.

v. Seuffert, Strahlentherapie. IX. 1920. S. 944. Praktiſche Bedeutung der Abweichung vom Dispersionsgeſetz bei Radiumtherapie.

Sievert, Acta radiologica. I. 1921. S. 89. Die Intenſitätsverteilung der primären Gammaſtrahlung in der Nähe mediziniſcher Radiumpräparate.

— Zeitſchr. f. Phyſ. XII. 1922. S. 243. Einige Bemerkungen zu der Abhandlung Friedrichs u. Glassers: „Intenſitätsverteilung der Gammaſtrahlen radioaktiver Subſtanzen im abſorbierenden Medium".

— Acta radiologica. II. 1923. S. 70. Zur Frage der Intenſitätsverteilung der Gammaſtrahlen in der Nähe mediziniſcher Radiumpräparate.

— Acta radiologica. II. 1923. S. 268. Secondary rays in radium therapeutics.

— Acta radiologica. V. 1926. S. 217. Einige Unterſuchungen über die Intenſitätsverteilung bei den im Radiumhemmet gebräuchlichen Diſtanzbehandlungen.

— Acta radiologica. V. 1926. S. 468. Eine einfache zuverläſſige Vorrichtung zum Meſſen von Tiefendosen.

— Acta radiologica. XI. 1930. S. 249. Die Gammaſtrahlungsintenſität an der Oberfläche und in der nächſten Umgebung von Radiumnadeln.

— Acta radiologica. XII. 1931. S. 190. A new method for determining the intensity of gamma-rays and roentgen-rays radiation.
— Acta radiologica. XII. 1931. S. 300. Notes on international units for roentgen and radium dosage.
— Acta radiologica. XIV. 1933. S. 107. Note regarding units of measurement of roentgen- and gamma-radiation.
— Acta radiologica. XV. 1934. S. 193. Über die Anwendung der Kondensatorkammer für sowohl Roentgen- wie Gammastrahlenmessungen; zugleich ein Beitrag zu den Vergleichen der biologischen Wirkungen dieser beiden Strahlenarten.
— Acta radiologica. Supplementum XIV. Eine Methode zur Messung von Roentgen-, Radium- und Ultrastrahlung nebst einigen Untersuchungen über die Anwendbarkeit derselben in der Physik und Medizin.
Sievert u. Benner, Acta radiologica. XI. 1930. S. 303. On secondary beta-rays from the surfarce of radium containers.
Sluys u. Kessler, Strahlentherapie. XXIX. 1928. S. 385. Die räumliche Verteilung der Gammastrahlung und ihre Messung für therapeutische Zwecke.
— — Strahlentherapie XXXI. 1929. S. 771. Die Messung der Gammastrahlung in absoluten R-Einheiten.
Souttar, The British Journ. of Radiology. IV. 1931. S. 681. On fields of radiation from radon seeds.
Spear u. Grimmitt, The British Journ. of Radiology. 1933. S. 387. The biological response to gamma-rays of radium as a function of the intensity of radiation.
Stahel, Strahlentherapie. XXXI. 1929. S. 582. Mikroionisationskammer für Roentgen- und Radiumstrahlen.
— Strahlentherapie. XXXIII. 1929. S. 296. Bestimmung der bei Gamma- und Roentgenstrahlbehandlung vom Gewebe absorbierten Energiemengen.
— Strahlentherapie. XLIV. 1932. S. 575. Ionisationsmessungen über den Einfluß der sekundären Betastrahlen bei Gammastrahlentherapie.
— The British Journ. of Radiology. 1934. S. 437. Note on radium isodose curves.
Stahel u. Piccard, Strahlentherapie. XXXVI. 1930. S. 347. Die Bedeutung der sekundären Betastrahlen bei Fragen der Gammastrahlentherapie.
Stahel, Simon und Johner, Acta radiologica XIV, 1933. S. 227. Importance clinique des rayons beta secondaires en curiethérapie.
Suetsugu, Strahlentherapie. XL. 1931. S. 401. Experimentelle Untersuchungen zur Frage der Radium-Sekundärstrahlung.
Zuppinger, Strahlentherapie. XXVIII. 1928. S. 703. Radiobiologische Untersuchungen an Askariseiern

Lebenslauf.

Am 9. April 1908 wurde ich in Altona/Elbe geboren als Sohn des Kaufmanns Joſef Simanowsky und ſeiner Ehefrau Hubertine geb. Schoofs; ich bin katholiſcher Konfeſſion. Die Reifeprüfung legte ich ab am ſtaatlichen Gymnaſium in Meppen/Ems zu Oſtern 1927. Ich ſtudierte Phyſik, Chemie und Mathematik in Freiburg im Breisgau 4 Semeſter, darauf in Berlin 2 Semeſter und ſchließlich in Bonn 7 Semeſter, in die 4 beurlaubte Semeſter nicht eingerechnet ſind.